

**УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

**А.Х. ШЕУДЖЕН, В.Т. КУРКАЕВ,
Н.С. КОТЛЯРОВ**

АГРОХИМИЯ

2-е издание,
переработанное и дополненное

Под редакцией
заслуженного деятеля науки РФ, профессора
А.Х. Шеуджена

Допущено Министерством сельского хозяйства
Российской Федерации в качестве учебного по-
собия для студентов высших учебных заведений
по агрономическим специальностям

Издательство «Афиша»
Майкоп – 2006

УДК 631.8(075.8)
ББК 40.4я73
Ш 52

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ, академик РАСХН

В.Г. Минеев
г. Москва, МГУ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

И.А. Бандурко
г. Майкоп, МГТУ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

М.И. Корсунова
г. Краснодар, КубГАУ

Ш 52 Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С. Агрехимия: Учебное пособие / Под ред. А.Х. Шеуджена. 2-е изд., перераб. и доп. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.

В учебном пособии (1-е изд. вышло в 2000 г.) излагаются теоретические основы агрохимии и применения удобрений. Основное внимание уделяется физиолого-агрохимическим основам питания растений, условиям проявления высокой эффективности удобрений, приемам, способам и срокам внесения всех видов удобрений, включая микроудобрения и химические мелиоранты. Излагаются методические основы планирования, постановки и проведения агрохимических исследований, а также статистической оценки полученных данных. Рассматриваются экологические проблемы агрохимии, диагностики состояния минерального питания и другие аспекты, лежащие в основе построения системы удобрения сельскохозяйственных культур.

ISBN 5-7992-0375-5

© Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С., 2006

Беспредельна русская равнина, бесконечны русские поля, непрестанна работа русского гражданина над родной своей нивой и только в ней лежит залог будущей мощи Российской республики. Не беден русский народ; он попирает ногами несметные богатства своей земли, и нужно только уметь и знать, как взять этот клад, а работа не страшна.

В.Р. Вильямс, 1918

ВВЕДЕНИЕ

Широко распространяет химия руки свои в дела человеческие... Куда ни посмотрим, куда ни оглянемся, везде обращаются перед очами нашими успехи ее прилежания.

М.В. Ломоносов, 1751

Буде хотим об удобрении земель основательно рассуждать, то надобно нам во внутренность земли и самых тех вещей вникнуть, которые ее удобряют, также рассмотреть, что именно удобряет землю и поспешествует лучшему урожаю хлеба. Прилежные естествоиспытатели подадут нам к тому руководство.

А.Т. Болотов, 1770

Агрохимия (агрономическая химия) – наука о минеральном питании растений, химических и биохимических процессах в почве и растениях, применении удобрений и других агрохимических средств повышения урожайности и улучшения плодородия почв. Термин "Агрономическая химия" впервые употребил в 1803 г. английский химик, почетный академик Петербургской академии наук Гемфри Дэви. Так назывался читаемый им курс лекций в Королевском институте (1803–1813 гг.). Как самостоятельная наука агрономическая химия сформировалась в первой половине XIX в. Точкой отсчета можно считать 1840 г., когда Ю. Либих опубликовал свой фундаментальный труд "*Химия в приложении к земледелию и физиологии*". Разработанная им теория минерального питания растений способствовала широкому внедрению минеральных удобрений в земледелие.

Применение минеральных удобрений – одно из важнейших направлений интенсивного развития земледелия. Их народнохозяйственное значение исключительно велико. Они являются материальной основой плодородия почв, богатства и могущества государств. Во всех странах мира с высокоразвитым сельским хозяйством не менее половины прироста растениеводческой продукции получают за счет внесения минеральных удобрений.

Мировой опыт показывает, что даже повышенные нормы применения удобрений могут сочетаться не только с высокой продуктивностью агроэкосистем, но и с хорошим качеством и относительной безопасностью получаемых продуктов, высоким уровнем жизни людей и их долголетием. Применение удобрений, по образному выражению основоположника отечественной агрохимии Д.Н. Прянишникова, равнозначно открытию новых сельскохозяйственных континентов. Каждая их тонна при грамотном использовании, повышая урожайность сельскохозяйственных культур, дает прибавку продукции, позволяющую удовлетворять годовую потребность, например, в хлебе –

40 чел., молоке – 10, сахаре – 45, овощах – 70, растительном масле – 80 чел. Минеральные удобрения есть, и будут оставаться в обозримом будущем одним из главных рычагов повышения продуктивности растениеводства. В настоящее время нет разумной альтернативы их применению.

В России наибольшие капитальные вложения в производство и применение удобрений были сделаны в 70–80-х гг. XX в. при благоприятной экономической ситуации в стране. С 1973 г. Советский Союз вышел на первое место в мире по производству минеральных удобрений, а с 1975 г. на его долю приходилось 20 % их мирового выпуска. Применение минеральных удобрений на 1 га пашни возросло с 28 кг в 1965 г. до 118 кг в 1988 г. Это позволило увеличить урожайность зерновых с 12 до 18 ц/га. В России на 1 га пашни в 1990 г. применяли 99 кг NPK. Однако окупаемость 1 кг NPK была низкой и составляла 5 кг зерна по сравнению с 10 кг среднеевропейского уровня. Это связано с менее благоприятными климатическими условиями возделывания культур в России (Ефимов В.Н., 2003).

Проведенные в России аграрные преобразования, сведенные в основном к структурным изменениям, нерегулируемой либерализации цен и откровенной экспансии зарубежных товаропроизводителей на отечественный рынок, повлекли за собой упадок материально-технической базы агропромышленного комплекса страны и системных технологий ведения сельскохозяйственного производства, их примитивизацию; поставили под угрозу существование основного невозобновляемого средства производства в сельском хозяйстве – почвы, без чего функционирование этой крайне важной для существования человека отрасли предельно затруднено.

В последнее десятилетие XX в., ознаменовавшееся экономическим кризисом в России, производство минеральных удобрений уменьшилось до 9098 тыс. т, из которых 6722 тыс. т было экспортировано. За этот период применение минеральных удобрений внутри страны сократилось до 1850 тыс. т и резко пошло на убыль их внесение на 1 га пашни. Это привело к снижению урожая зерновых с 18 до 11,6 ц/га (Ефимов В.Н., 2003). Обвальное сокращение количества вносимых удобрений привело к деградации почв и резкому снижению их плодородия. За последние годы ухудшилось качественное состояние сельскохозяйственных угодий: увеличились площади переувлажненных, закисленных, закустаренных, подверженных эрозии и опустыниванию земель. Результаты химизации земледелия России на рубеже третьего тысячелетия, несмотря на отдельные успехи в прошлом, требуют переосмысления сложившейся методологии и традиций. Курс на адаптивную интенсификацию, технологизацию, экологизацию, наукоемкость российского сельскохозяйственного производства, в том числе, в первую очередь, по управлению минеральным питанием растений, – следует признать безальтернативным. Необходима интеграция агрохимических и других методов интенсификации земледелия в современных агротехнологиях и доведение их непосредственно до сельхозтоваропроизводителя (Романенко Г.А., Иванов А.Л., Клюкач В.А. и др., 2005).

Большое разнообразие физико-географических и, в первую очередь, почвенно-климатических условий Российской Федерации требует широкого изучения особенностей применения удобрений в различных регионах. Поэтому наряду с теоретическими основами и экологическими проблемами агрохимии в книге освещается целый ряд вопросов системы удобрений в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации. В ее основу положен курс лекций и практических занятий, апробированных авторами в Кубанском

государственном аграрном университете; личные научные труды, а также монографии и статьи отечественных и зарубежных ученых.

Книга открывается вступительным разделом – *"Предмет и задачи агрохимии"*, который дает возможность ознакомиться с предметом, задачами и методами этой науки. Во втором разделе – *"История агрохимии"* рассматривается развитие представлений человека с глубокой древности до настоящего времени о питании растений, почве и плодородии, его сохранении и воспроизводстве. В разделе *"Теоретические основы агрохимии"* последовательно излагаются программные вопросы агрохимии как науки: "Химический состав растений", "Роль химических элементов в жизнедеятельности растений", "Агрохимия и физиология питания растений", "Почва – экологическая среда и источник питательных веществ для растений".

В четвертом разделе *"Прикладная агрохимия"* приводятся исчерпывающие сведения по удобрениям, химическим мелиорантам, регуляторам роста растений, биопрепаратам. Этот раздел включает подразделы: "Удобрения: свойства, химический состав и применение", "Химическая мелиорация почв", "Физиолого-экологические приемы оптимизации минерального питания растений", "Диагностика питания растений и определение потребности в удобрениях", "Система удобрения".

В пятом разделе *"Методы агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов"* рассмотрены методы исследований, применяемые в агрохимии: лабораторный, вегетационный, лизиметрический, полевой, производственный. Даны основы статистической обработки результатов исследований и техника математической обработки данных наблюдений, однофакторных и многофакторных опытов.

Минеральные удобрения – эффективное средство повышения урожайности сельскохозяйственных культур, – в то же время в неумелых руках при неграмотном применении они могут нанести непоправимый ущерб окружающей среде и здоровью людей. Поэтому агроному надо знать не только, как и в каком количестве вносить удобрения, но и иметь ясное представление о процессах, происходящих при этом в почве, растениях и окружающей среде. Эти знания позволят не только творчески подойти к сугубо практическим вопросам химизации сельского хозяйства, но и предотвратить возможные негативные последствия. Поэтому не случайно книга завершается разделами *"Удобрения и охрана окружающей среды от загрязнения"* и *"Экологическая агрохимия"*.

Учебное пособие написано в соответствии с действующей программой дисциплины "Агрохимия" для агрономических специальностей высших учебных заведений. Можно также надеяться, что оно будет полезным аспирантам, преподавателям и научным работникам, ведущим исследования по различным проблемам агрохимии и в смежных отраслях.

1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ АГРОХИМИИ

Всякий человек ... должен учиться и упражняться в том, в чем хочет достигнуть совершенства.

Сократ, 470–399 гг. до н. э.

Государства разрушаются, религии рассеиваются как туман, и только наука остается вечной во все времена.

М.Т. Улугбек, 1394–1449

Среди факторов жизни растений минеральное питание в наибольшей степени поддается регулированию при их выращивании. Для нормального роста и формирования высокой продуктивности растений элементов питания не хватает, поэтому для устранения голодания растений и повышения урожая их нужно вносить в виде различных веществ. Вещества, применяемые для улучшения питания растений, называют удобрениями. В современном земледелии удобрения – составная часть агротехнологии, экологизации земледелия, устойчивости агроэкосистем, средство регулирования круговорота веществ в агроландшафте.

Без применения удобрений нормальная жизнь людей на Земле в настоящее время невозможна. История человечества, начиная с Древнего Мира, свидетельствует о необходимости их применения. Мировая статистика показывает, что каждый третий житель планеты получает питание за счет продукции, получаемой от применения удобрений. Однако использование удобрений обходится недешево и применять их нужно так, чтобы не только оправдывать затраты, но и получать прибыль, разумеется, не нанося при этом ущерба окружающей среде. Агроном, агрохимик и любой работник, связанный с применением удобрений, должен уметь разбираться в вопросах технологии использования и повышения их экономической эффективности. Принимая решение о применении удобрений, нужно учесть биологические и сортовые особенности растений, свойства почв и самих удобрений. Изучением этого и разработкой способов применения удобрений и занимается агрономическая химия (агрохимия). Агрохимия является научной основой применения удобрений.

Агрохимия – наука о взаимодействии растений, почвы и удобрений в процессе выращивания сельскохозяйственных культур, о круговороте веществ в земледелии, рациональном применении удобрений с целью увеличения урожая, улучшения его качества и повышения плодородия почв.

Агрохимия основывается на знаниях ботаники, химии, физиологии растений, почвоведения и других смежных наук (рис. 1).

Для изучения агрохимии особенно важно знание ботаники, физиологии и биохимии растений. Превращение удобрений в почве связано с ее свойствами, а также химическими и микробиологическими процессами, происходящими в ней, что изучается в почвоведении, химии и почвенной микробиологии. Приемы внесения удобрений тесно связаны со способами обработки почвы, борьбы с сорной растительностью, севооборотами, научные основы которых изучаются в земледелии. Они также связаны с биологическими особенностями и технологией возделывания отдельных культур, что изучается в растениеводстве. Наконец, для правильного применения удобрений необходимы знания по мелиорации и агрометеорологии.



Рис. 1. Агрохимия – интегрирующая наука фундаментальных и прикладных дисциплин

Агрохимия – наука биологическая и сельскохозяйственная. Центральное место в агрохимии занимают три проблемы: питание растений, плодородие почвы и применение удобрений. Взаимодействие между растениями, почвой и удобрениями академик Д.Н. Прянишников изображал в виде треугольника, который получил название «треугольник Прянишникова» (рис. 2).

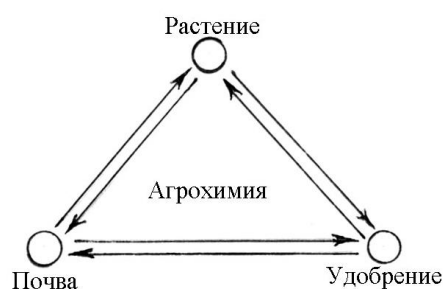


Рис. 2. Схема взаимодействия объектов, изучаемых агрохимией

По углам треугольника размещены основные объекты агрохимии, а стрелками показана взаимосвязь между ними. Ведущее место в этом треугольнике занимает растение, поэтому изучению требований к питанию растений в агрохимии придают первостепенное значение. Почва изучается как местообитание и источник минерального питания, а удобрения – как средство воздействия на почву. Почва как источник питания обеспечивает растения питательными элементами. В то же время под влиянием корневых выделений изменяется ее химический состав. Удобрения пополняют запасы питательных веществ почвы, улучшают ее агрохимические и физико-химические свойства. Почва, в свою очередь, влияет на удобрения, изменяя их растворимость и состав. Удобрения оказывают воздействие на режим питания растений, которые, в свою очередь, влияют на почву корневой системой.

Изучение взаимодействия растений с почвой и удобрениями позволяет выявить недостающие факторы в жизни и питании растений и рекомендовать

конкретные агроприемы повышения урожайности сельскохозяйственных культур и качества растениеводческой продукции.

Чтобы получить высокий урожай хорошего качества, необходимо сочетание всех факторов роста и развития растений. Это направление в агрохимии, развитое Д.Н. Прянишниковым, называют физиолого-биохимическим. Он писал: "Для получения высокого урожая надлежащего качества необходимо, чтобы все факторы роста растений были представлены в определенных гармонических сочетаниях, наиболее отвечающих потребностям растений в соответствующие периоды их роста и развития".

Главная задача агрохимии, по определению Д.Н. Прянишникова, – изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех приемов воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растениях, которые могут повышать урожай или изменять его состав. Основным средством воздействия человека на круговорот веществ являются удобрения. Являясь главным в агрохимии, учение о круговороте веществ в земледелии, таким образом, является его химической основой.

Учение о круговороте веществ в земледелии положено в основу экологического подхода к применению удобрений. Такой подход "... должен обеспечить эффективное решение основной задачи агрохимии – регулирование биологического круговорота в агроценозах", – отмечается в "Концепции развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства в Российской Федерации на период до 2010 года" (М., 2005). В связи с этим знание агрохимии необходимо не только при применении удобрений, как иногда считают, но и в земледелии вообще.

Агрохимия – наука экспериментальная. Основным способом получения данных, на основании которых решаются проблемы этой области знаний, является эксперимент (опыт). Агрохимия использует лабораторные, лизиметрические, полевые и производственные эксперименты. Для наблюдений за растениями и почвой, определения их химического состава и физико-химических свойств применяют химические, физико-химические, микробиологические, физиолого-биохимические методы. Широко привлекаются расчетно-экономические и математические методы – математическое моделирование, статистическая обработка результатов исследований.

Прочитайте оглавление этой книги. Вы увидите, что основу ее составляют четыре части: питание растений, свойства почвы, свойства удобрений и система удобрения культур. Первые три раздела содержат материал для обоснования системы применения удобрений (рис. 3). На этой основе могут разрабатываться высокоэффективные, экономичные технологии использования удобрений для конкретных условий с учетом охраны окружающей среды.

Студенту, освоившему смежные дисциплины, изучать агрохимию будет намного легче. Некоторым может потребоваться повторение отдельных вопросов. Трудноусваиваемые вопросы агрохимии в данной книге содержат необходимые пояснения по смежным наукам.

Для овладения наукой агрохимией необходимо не только усвоить теоретический и практический материал, но и научиться применять эти знания для решения профессиональных задач, возникающих при использовании удобрений.

Особое внимание необходимо обратить на основные положения, позволяющие понимать агрохимию в целом. Нужно вести хороший конспект лекций, который следует дорабатывать в день прослушивания лекций. Из конспекта будет видно, какой материал и в каком объеме нужно изучать по учебнику. Требуется также вести полные записи по лабораторным работам и практическим занятиям.

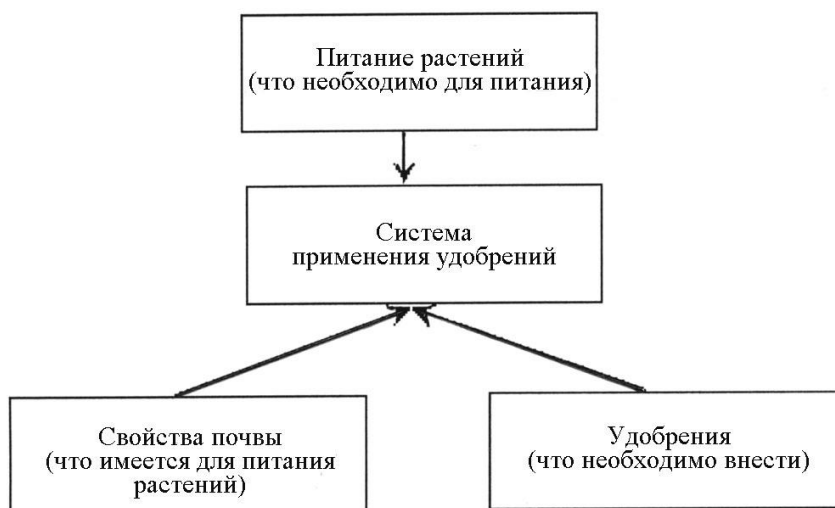


Рис. 3. Объекты изучения агрохимии

Учебное пособие рекомендуется студентам очной и заочной форм обучения. При работе с ним вначале нужно ознакомиться с требованиями к профессиональной подготовке и содержанием дисциплины по Вашей специальности. Эти материалы, взятые из "Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования" в части относящийся к агрохимии, приводятся в приложении 1. Там же по специальностям подготовки дипломированного специалиста приводятся вопросы для самоконтроля. Подробное содержание дисциплин можно найти в примерных программах, разработанных Министерством образования РФ.

Изучение отдельных глав книги рекомендуется проводить в два этапа. При первом чтении создается общее представление о содержании, и выясняются трудные места. При повторном изучении темы легче понять сущность вопроса, теоретических понятий, их применение. Параллельно с чтением целесообразно вести конспект. Это помогает пониманию и запоминанию прочитанного. Определения и наиболее важные понятия нужно выписывать дословно, а также записывать в конспект термины, определения, названия, формулы, уравнения реакций, расчеты. Непонятные положения следует записывать для выяснения их на лабораторно-практических занятиях и консультациях.

Для проверки усвоения полезно восстановить по памяти основные положения прочитанного. Могут быть полезными также повторные записи части материала, чтение вслух, пересказывание, обсуждение. Не следует приступать к дальнейшему изучению материала, не усвоив предыдущий. При усвоении и повторении большого теоретического и фактического материала нужно использовать таблицы и схемы, наглядные пособия. Для самоконтроля в приложении приводятся вопросы. Чтобы убедиться в качестве своих знаний, старайтесь ответить на все вопросы. Подробно эта часть дается кафедрой.

Мы надеемся, что использование этих рекомендаций даст возможность наиболее эффективно использовать время, отведенное для изучения агрохимии.

2. ИСТОРИЯ АГРОХИМИИ

Нельзя как следует знать то, чем обладаешь, пока не узнаешь то, чем обладали до нас; невозможно по-настоящему радоваться преимуществом своей эпохи, не умея ценить преимущества минувших времен.

И.В. Гете, 1773

Необходимость изложения нелегких путей развития агрохимии связана с тем, что эта отрасль науки выполняет особенную роль в решении важнейшей практической задачи отечественного земледелия – обеспечения населения высококачественными экологически безопасными продуктами питания, а в конечном счете достижения продовольственной независимости нашей страны.

В.Г. Минсеев, 2002

2.1. Представление о плодородии почв и питании растений в Древнем мире (с древнейших времен до первой половины V в.)

Агрохимия как наука о круговороте веществ в земледелии, питании растений и регулировании этого процесса с помощью удобрений сложилась в первой половине XIX в. Однако корни научных знаний уходят в глубокую древность и связаны с зарождением и постепенным развитием земледелия – одной из основных отраслей человеческой деятельности. О плодородии, как основном свойстве почвы давать урожай, догадывались уже первые земледельцы. Именно этим объясняется постоянное освоение новых земельных участков и размещение на них посевов, как только урожай на предыдущем начинали снижаться. Многие последующие тысячелетия развития человечества были лишь периодом накопления разрозненных фактов, наблюдений, гипотез, передававшихся из поколения в поколение. Задолго до возникновения агрохимии как науки земледельцы не только имели довольно стройные, хотя и часто ошибочные, представления о питании растений и плодородии почвы, но и использовали различные приемы сохранения почвенного плодородия.

Период первичного накопления разрозненных фактов о плодородии почв и способах их удобрения связан с совершенствованием земледелия в глубине веков неолита и бронзы (11–10 тыс. лет до н. э.). В это время человек уже сопоставлял почвы по их плодородию, отличая песок от суглинка, болото от сухого места, а к почве относился как среде обитания растений. Об этом свидетельствуют дошедшие до нас египетские папирусы с описанием качества земли "*Палермский камень*" и "*Бруклинский папирус*" (3500–3000 гг. до н. э.). Этому же посвящено и первое издание земельно-водного законодательства вавилонского царя Хаммурапи "*Кодекс Хаммурапи*" (1792–50 гг. до н. э.).

Об удобрении почвы известно с древних времен. Для этого использовали прежде всего экскременты животных, смешивая их с подстилкой для получения навоза. И древние греки, и римляне применяли навоз с целью повышения плодородия почвы. Это нам известно из раскопок поселений, погребенных в 79 г. вместе с Помпеей при извержении вулкана Везувия: в стойле были найдены останки животных на подстилке, а возле стойла – огромная навозная куча. Для повышения урожайности древние римляне выращивали люпин и кормовые бобы в качестве зеленого удобрения. Инки еще в XIII в. до н. э. удобряли свои поля рыбой, ракушками и экскрементами морских птиц (гуано) и таким

образом вносили в почву азот, кальций и фосфор. В то же время индейцы майя, уровень культуры которых достиг высшей точки несколькими столетиями раньше, не умели удобрять поля. Им приходилось оставлять места поселений, т. к. в результате истощения запасов питательных веществ в почве собираемого урожая не хватало для питания. Это послужило одной из причин заката культуры майя в классических районах их обитания в начале II тысячелетия до н. э.

Первые письменные сведения о земледелии дошли до нашего времени на глиняных табличках древнего государства шумеров (IV тысячелетие до н. э.). Обнаруженная здесь при раскопках библиотека содержала более 30 табличек, известных под названием "*Календарь земледельца*", в которых говорится о способах сохранения плодородия "земли". Конечно, все советы "Календаря" довольно примитивны. Они представляют интерес лишь как первая попытка человека дать в письменном виде некое подобие руководства по земледелию. Систематизация представлений об удобрениях произведена значительно позднее выдающимися философами и естествоиспытателями Древней Греции и Рима (VIII в. до н. э. – III в. н. э.). Особую известность получили трактаты Аристотеля, Катона, Варрона, Вергилия, Колумеллы и Плиния. Эти более чем двухтысячелетней давности произведения показывают, как передовые люди того времени, не имевшие представления о биологии растений, о химии и почвоведении, ощупью искали взаимосвязь явлений в растительном царстве и опытным путем подошли к решению задачи получения высоких урожаев. Они выдвинули ряд замечательных догадок, правильность которых впоследствии подтвердила наука. Творчество агрономов античного мира свидетельствует об их глубоком понимании основ земледелия.

Аристотель (384–322 гг. до н. э.) – древнегреческий философ и ученый, изложивший наиболее значительные сведения об основах агрономии. Безусловной заслугой Аристотеля является то, что он собрал и систематизировал большой естественно-научный материал, добытый его предшественниками, критически оценил это наследие, исходя из своих энциклопедических познаний, сам сделал ряд глубоких и тонких наблюдений. Он был одним из первых, обративших внимание на питание растений. Растения были разделены им на однолетние, многолетние, кустарники и деревья, сделал попытку описать внутреннее их строение. Аристотель считал, что растениям нужны четыре стихии: воздух, вода, земля и огонь. Сравнивая жизнь растений и жизнь животных, он заметил, что последние выделяют экскременты, а первые – нет. Отсюда он сделал вывод, что растения корнями всасывают из земли уже готовую пищу и поэтому в их организме не образуются экскременты. **Теория питания растений готовой пищей**, несмотря на всю примитивность взглядов, господствовала в науке почти 20 веков.

Марк Порций Катон (234–149 гг. до н. э.) – римский писатель, автор трактата "*Земледелие*" и книги "*О делах деревенских*", в которых собраны практические советы по разным отраслям хозяйства: обработке почвы, возделыванию виноградников, оливковых садов, луговодству и животноводству. Он сделал попытку классифицировать почвы по пригодности их для выращивания различных сельскохозяйственных растений. Катон в своем учении писал, что возделывать поле – это значит "хорошо пахать и унавоживать". Причем он не только указывал на необходимость внесения навоза, но и предложил определенную технологию его использования: "Старательно сохраняй козий, овечьих, коровий и всякий прочий навоз. Постарайся иметь большую навозную кучу, когда будешь вносить – очищай его и размельчай; осенью вывози... Из чего навоз сделаешь: из соломы, люпиновых стеблей, мятой соломы, мякины, лист-

вы дубовой и падубовой... Навоз дели так: половину доли вывози на ниву, где будешь сеять корма, ...четвертую долю положи под окопанные маслины... другую четверть сохрани для луга...". Катон все растения делил на истощающие и обогащающие почву, хотя еще и не догадывался о мелиорирующей роли бобовых культур. Труды Катона широко пользовались земледельцы, они на протяжении многих веков неоднократно переписывались и являются важными источниками об организации рабовладельческого поместья в Древнем Риме.

Теофраст (370–285 гг. до н. э.) – ближайший друг и ученик Аристотеля, отличающийся, как и его учитель, разносторонностью научных интересов, специально занимался растениями. Его ботанические труды: "*Причины растений*" в 6-ти книгах и "*Исследования о растениях*" в 9-ти книгах, имели столь огромное значение и оказали столь большое влияние на воззрения ботаников вплоть до XVII в., что Теофраста и до наших дней справедливо называют "отцом ботаники". Значительное внимание он также уделял и изучению почв, питающих и содействующих питанию растений. В своей работе "*О причинах растений*" писал, – что "землю следует рассматривать как женское существо". По Теофрасту, растения питаются земным жиром, отложенным в почве. Жировые отложения поднимаются в верхние части почвы и, попадая в корни, передают растениям питательные соки. Теофраст разработал подробную классификацию почв по окраске, мощности, гранулометрическому составу, сложению, влажности, тепловым свойствам, условиям рельефа, окультуренности и плодородию. По плодородию он различал почвы: прекрасные, хорошие, плодородные, плодovitые, приемлемые, истощенные, бледные, бессильные и бесплодные.

Марк Теренций Варрон (116–27 гг. до н. э.) написал трактат "*Сельское хозяйство*", состоящий из трех книг: первая посвящена организации хозяйства, полеводству и садоводству; вторая – животноводству; третья – птицеводству, пчеловодству и рыбоводству. Он указывал на пользу чередования культур, по сути дела севооборот, предлагал использовать сидеральные культуры, в частности люпин, если не хватает навоза. Лучшим же удобрением считал птичий помет, особенно из птичников. Варрон первым заявил о самостоятельности земледелия как науки. Он писал, что земледелие – наука необходимая и великая. Она учит нас, что на каждом поле следует сеять, чтобы земля постоянно приносила высокие урожаи. В центре земледелия Варрон видел два главнейших звена: почву и урожай. Для получения стабильных урожаев он рекомендовал дифференцировать агротехнику в зависимости от почвенно-климатических условий.

Вергилий Марон Публий (70–19 гг. до н. э.) вошел в историю как поэт Древнего Рима. Однако он был и выдающимся земледельцем. Свою поэму "*Георгики*" Вергилий посвятил сельскому хозяйству. Поэма пронизана искренней любовью к земледельческому труду, это своего рода гимн в его честь. В ней не только обобщается весь предыдущий опыт земледельцев, но и делается следующий шаг в развитии агрономической мысли. Ученый советует земледельцу, прежде чем начать работу, изучить природные условия местности, почву и "дедовский метод":

Но перед тем, как взрезать начнем незнакомое поле,
Надобно ветры узнать и различные смены погоды,
Также отческих мест постигнуть обычай и способ:
Что тут земля принесет и в чем земледельцу откажет:
Здесь счастливее хлеб, а здесь виноград уродится.
Здесь плодам хорошо, а там зеленеет не сеян
Луг...

Для распознавания, "какая земля для чего пригодна, какая сила в какой, цвет какой и к чему какая пригодна природа", Вергилий приводит ряд способов. Вот один из них:

Вырыть колодезь и весь засыпать доверху снова
Той же землей, и ее притопчешь крепко ногами.
Если не хватит земли, – легка, скотине и лозам
Больше подходит она; откажется ж если вместиться,
Ежели выше краев над полной подыметя ямой –
Почва плотна..."

И далее:

Почва соленая есть, ее называем мы "горькой",
Хлеб не родится на ней, ибо вспашка ее не смягчает.

Для определения засоленности почвы поэт рекомендует процедить помещенную в корзину почву чистой пресной водой. Вкус просочившейся воды "... указание даст очевидное привкусом горьким..."

Вергилий пропагандировал необходимость иметь чистый пар, чередование культур и удобрение почвы не только навозом, но и золой и запашкой люпина:

Не торопись, пусть год отдыхает поле под паром,
Чтоб укрепилось оно, покой на досуге вкушая.
Или, как сменится год, золотые засеивай злаки
Там, где с поля собрал урожай, стручками шумящий,
Или где вика росла мелкоплодная с горьким люпином,
Чьи, целым лесом шумя, подымаются ломкие стебли.
Ниву посев иссушает льняной, иссушает овсяный,
Также спялет и мак, налитанный дремой литейской.
Но с промежутками в год посев их бывает оправдан.
Лишь бы ты почву сырым удобрил щедро навозом
Или нечистой золой утомленное поле посыпал.
Так, сменяя посев, полям ты покой предоставишь.

Практические советы Вергилия были направлены к крестьянину-земледельцу, самостоятельно обрабатывающему свой надел; поэтому у него нет ни одной строки, посвященной организации и эксплуатации рабского труда.

Гай Плиний Секунд (Плиний Старший) (23–79 гг. н. э.) – римский писатель и ученый. Автор трактата "*Естественная история*", состоящего из 37 книг, – своеобразной энциклопедии естественнонаучных знаний античности. При написании его автор проанализировал 146 работ римских и 327 – иноземных писателей. Этот труд долго служил источником сведений и знаний при составлении руководств по самым различным научным дисциплинам: географии, ботанике, зоологии, медицине, сельскому хозяйству. Непосредственно сельскому хозяйству посвящены 17 и 18 книги. Труд Плиния Старшего носит обобщающий характер. Он приводит разные взгляды на вопросы агрономии писателей, живших до него. В заключение ученый приходит к выводу, что лучше хорошо обработанное малое поле, чем плохо обработанное большое. В подтверждение этому Плиний приводит такой пример: земледelec Гай Фурий Кресин начал получать с малого участка такие урожаи, какие его соседи собирали с больших. Кресина обвинили в колдовстве, при помощи которого он будто бы переманивает к себе урожай с полей соседей. На суд он явился со своим усовершенствованным сельскохозяйственным инвентарем и неизнуренными рабами. Указывая на них, Кресин заявил, что

все это и есть его колдовство, высказав при этом сожаление, что он на суд не может привести свои бессонные ночи, долгий рабочий день и проливаемый им в работе пот. Судьям стало ясно, что урожай Кресина есть результат его большого кропотливого труда, применения удобрений и лучших орудий труда, поэтому обвинения с него были сняты. Много места в труде Плиния уделено сообщению разных новых агрономических данных, ранее не встречавшихся в работах его предшественников. К ним относятся подробные сведения из разных разделов земледелия и особенно по вопросам применения удобрений. Плиний трагически погиб при извержении вулкана Везувия, желая ближе наблюдать это природное явление.

Луций Юний Модерат Колумелла (I в. н. э.) писал: "С сельским хозяйством можно управиться без тонкостей, но оно не терпит и глупости. Мнение большинства, что оно представляет собой легчайшее занятие, не требует никакого ума, очень далеко от истины". В трактате "*О сельском хозяйстве*" можно найти самые разнообразные сведения об удобрении почв. Колумелла дает агрономические советы, в том числе и по удобрению почвы. Все удобрения он разделял на пять основных видов: навоз, компост, зеленое удобрение, минеральное и удобрение земель. Колумелла подробно пишет о приготовлении хорошего навоза: "Навозных ям должно быть две: в одну складывают свежий навоз, который там и остается целый год; из другой – вывозят старый. Обе делаются на манер бассейнов, со слегка покатым дном, которое заливается затиркой, чтобы не пропускало жижи. Чрезвычайно важно, чтобы она не высыхала и навоз не потерял своих сил. Его усердно поливают, чтобы семена сорных трав и колючих растений, застрявшие между соломой и мякиной, погибли и, будучи вывезены на поля, не заглушили посев травой. Опытные хозяева поэтому весь навоз, вычищенный из овчарен и других хлевов, прикрывают ветками, тем самым не давая солнечным лучам иссушить и сжечь его". Рекомендации Колумеллы о хранении навоза совершенно правильны. Это стоит отметить особо потому, что в его время не имели понятия об азоте вообще и как об элементе питания растений и, следовательно, о потерях его при хранении навоза. Тем не менее, все его советы по хранению навоза как раз и служат сохранению азота. О внесении навоза он писал: "Гораздо выгоднее хозяину удобрять землю чаще, чем делать это без меры... Разбросав удобрение, следует немедленно запахать его, засыпать землей, чтобы оно от солнечного зноя не потеряло сил и чтобы земля, перемешавшись с ним, тучнела от этой пищи. И поэтому, когда в поле раскладывают навозные кучи, то не следует разбрасывать навоза больше, чем пахари смогут в тот же день запахать". Есть в этом трактате и подробные сведения о способности люцерны "удобрять почву". В споре со своим другом Тремелиусом, который доказывал, что со временем земля истощится, подобно человеку, состарится и сделается бесплодной, Колумелла восклицал, что "земля – это не устаревшая женщина. Нет, это – дева, всегда юная, красивая, всегда свежая, молодая, всегда способная быть плодородной, если только уметь лелеять ее младость, сохранять, поддерживать ее нежную, игривую жизнь". Книги Колумеллы – это как бы энциклопедия сельского хозяйства, обобщение всего агрономического опыта, накопленного в Риме в период его расцвета. 18 веков спустя крупнейший ученый-агротехник Либих скажет: "Когда читаешь двенадцать книг Колумеллы и сравниваешь их с нашими руководствами по части практического сельского хозяйства, ощущаешь то же, что при переходе из бесплодной пустыни в прекрасный сад, в котором все свежо и прекрасно".

Уже во времена Римской империи для повышения плодородия почв использовали унавоживание и внесение хозяйственных отходов, применялось зеленое удобрение, зола, известь и мергель. В трактатах по земледелию периода Греко-Римской цивилизации имелись сведения не только о приемах выращивания культурных растений, но и об их различной требовательности к почвам, приемам ее удобрения и чередованию культур. Была известна удобрительная ценность бобовых культур, в частности, люпина. Суть этих приемов оставалась для них неизвестной, хотя уже были сформулированы первые постулаты науки, сохранившие свое значение до настоящего времени. К таковым можно отнести утверждение, дошедшее к нам в древней поговорке "*Тление – мать растительности*", в которой подмечено главное различие в питании растений и животных. А именно – животные потребляют органические вещества, а растения – минеральные. Другое, не менее важное утверждение греческих античных философов-материалистов, что для жизни растения необходимы вода, воздух, земля и огонь.

2.2. Взгляды на питание растений и применение удобрений в средние века (V–XV вв.)

В первые два века новой эры рабовладельческий способ производства Римской империи достиг своего высшего расцвета. Однако в дальнейшем многочисленные восстания рабов, междоусобная борьба знати за власть, натиск северных варваров (германских племен) привели к тому, что в V в. Римская империя пала.

На смену рабовладельческому строю пришел феодализм, Древнему миру – средневековье. В этих условиях приостановилось развитие и агрономической науки, на долгое время были забыты достижения римских земледельцев и агрономов. Технология земледелия опустилась до уровня, бывшего у германских и славянских племен, стоявших на более низкой ступени культурного развития, чем греки и римляне.

Вся "наука" сосредоточивалась тогда в монастырях. Поэтому и авторами агрономической литературы были обычно церковные деятели. Их сочинения повторяли в основном то, о чем уже много веков тому назад писали римляне, и лишь отдельные мысли и рекомендации могли претендовать на новизну. Интересны же они тем, что отражают уровень агрономической мысли того времени. Наиболее выдающимся из этих авторов был немец – **Альберт Великий** (Альберт фон Больштедт, 1193–1280 гг.) – доминиканский монах, создавший значительное для того времени произведение "*О растениях*". Его перу принадлежат также сочинения: "*Об алхимии*", "*О металлах и минералах*".

Вот несколько оригинальных высказываний Альберта Великого по различным вопросам агрикультуры: "Пища... не есть какой-то простой элемент; следует, чтобы пища растений была сложной". Этим автор стремится подчеркнуть мысль, что растения нуждаются в различных элементах питания. Отметим, что такого четкого понимания этого вопроса у древних агрономов не было.

О наиболее пригодной для питания растений степени разложения органического вещества Альберт пишет: "А так как растение не имеет чрева, но использует вместо чрева землю, то важно, чтобы в земле вокруг растений располагалась гниющая пища, затем влажность ее притягивалась корнями, и они питались ею".

"Итак, после того, как в общем установлено распределение удобрения, необходимо, чтобы оно (было) скорее на пути к разложению, чем оказалось

уже испепелившимся: испепеленное, оно уже сведено естественным теплом к земельному праху, а это никоим образом не подходит в пищу чему-либо живому... Поэтому требуется удобрение ни слишком молодое, ни уже испепеленное давностью, наилучшим растениеводы считают такое, которое лежало год, либо три четверти года. Ибо молодое (удобрение) еще скрывает в себе влагу; старое же целиком ее утеряло, то же, которое выпотеваает, находится в состоянии отдачи своей влажности в пищу".

Другим заслуживающим внимания агрономическим произведением средневековья является книга итальянца **Петра Кресценция** (1230–1309) "*О выгодах сельского хозяйства*", написанная в 1305 г. В трактате много ссылок на Катона, Варрона, Колумеллу, Палладия и агрономических писателей средневековья. Достоинство книги – в обилии теоретического и практического материала, в хорошем изложении. Вот почему она долгое время оставалась одним из лучших европейских произведений по сельскому хозяйству.

В VIII в. появился ряд сельскохозяйственных трактатов и в Англии. Наиболее значительный из них – "*Хозяйство*", написанный **Вальтером Хенли**. Для труда Хенли характерны более четкие, чем у других авторов, рекомендации по использованию соломы: "Не продавайте солому и не снимайте ее с поля, если только она вам не нужна, чтобы крыть дома; если снимите, то потеряете больше, чем приобретете". Ученый рекомендовал запахивать ее. Не зная о химическом составе навоза, об улетучивании из него такого важного элемента, как азот, Хенли правильно подошел к мысли о сохранении в навозе питательных веществ: "Когда и навоз и земля вместе заборонены, то земля поддержит навоз и он не так истощится, как не будучи смешанным с ней" (мы тоже говорим, что разбросанный по полю навоз следует как можно скорее заделать, чтобы избежать потерь содержащегося в нем азота). "Если вы положите навоз на поднятый пар, то при двоении он будет перевернут под землю, а при вспашке под сев выкинут наверх перемешанным с землей. Если же положить навоз на пар после двоения, то при вспашке под сев он будет перевернут под землю и плохо смешается с землей, что очень невыгодно".

Свидетельства средневековой русской культуры можно найти в дошедших до наших дней замечательных письменных памятниках тех времен. Среди них заслуживают внимания древнейшие сборники Киевской Руси, известные под названием "*Изборники Святослава*" (1073; 1076). В них среди ряда церковных сочинений и сведений по грамматике, логике, поэтике и другими есть ценные описания почв, растений и их свойств. Они показывают, что уже в те времена нашим предкам хорошо были известны значение плодородия почвы для выращивания сельскохозяйственных культур. Именно из средневековья к нам пришли крылатые поговорки: "Без назема–батюшки (т. е. навоза) не жди хлеба от земли–матушки", "Вози навоз, не ленись, так хоть и Богу не молись", "Вокруг лоз клади навоз", "В поле свез навоз, а с поля – хлеба воз", "Все одну полосу пашешь, в залежь не пожидаешь, назема (навоза) не кладешь – вот и выпал ея, не родит", "Где лишняя навоза колышка (т.е. ком, куча), там лишняя хлеба коврижка", "Добрая земля назем (навоз) раз путем примет, да девять лет помнит", "Добудь дедовского навозу, снопы валиться будут с возу", "До Ильина дня (2 августа) в сене пуд меду, после Ильина – пуд навозу", "Земля зола золой", "Земля любит навоз, а конь, – овес", "Навоз кладут, чтоб больше хлеба родилось, а полбу сеют, чтоб людям годилась", "Навоз отвезем, так и хлеб привезем", "На нови хлеб сеют, на старь навоз возят", "Не бросай золу на дорогу, а носи в огород понемногу", "С Федора дня (21 июня) пошла навозница (т. е. возка навоза на пары)".

В период раннего средневековья (VI–VIII вв.), территория европейской части нашей страны была заселена отдельными земледельческими славянскими племенами. Пашенное земледелие, с древности известное на юге, к тому времени достигло и северных славянских земель. В IX–XII вв. восточнославянские племена объединились в централизованное государство – Киевскую Русь. В конце XV в. сложилось Русское государство во главе с Москвой. Как свидетельствуют строки летописцев крестьяне, обживавшие территорию европейской части нашей страны, еще в те далекие времена заметили, что их поля выпахиваются, урожаи по годам неустойчивы и резко снижаются. В поисках целинных земель крестьяне постепенно значительно расширили территорию российского государства. Именно сохой, а не мечом происходило по-настоящему расширение границ российского государства.

2.3. Исследования по физиологии растений в новой истории и создание агрохимии как науки (XVI–XIX вв.)

В XIV–XV вв. в Западной Европе начался процесс разложения феодального строя. В городах на базе мелкотоварного ремесла возникали крупные мануфактуры, в деревне росло товарное производство. Замена барщины натуральным и затем денежным оброком способствовала развитию производительных сил сельского хозяйства и экономической дифференциации крестьянства. Появление капиталистического фермерства ослабляло экономические основы феодальных поместий. Буржуазные революции, вызванные несоответствием уровня производительных сил феодальным производственным отношениям, привели к окончательной ликвидации феодального строя и замене его капитализмом. Первые шаги молодого общества связаны с эпохой Возрождения, отличительной чертой которой является бурное развитие наук и в первую очередь естествознания.

Церковные догмы уже не устраивали общество того времени. Складывающиеся условия требовали права на свободу мысли, научных исследований, развития литературы и искусства. Мыслители эпохи Возрождения обратились к античному наследию, во многом забытому или искаженному в Средние века. Начали извлекать и изучать средневековые монастырские записи. Огромную роль в этом сыграло изобретенное в середине XV в. книгопечатание. С 1466 по 1515 г. в Европе были напечатаны сочинения Аристотеля, Аристофана, Геродота, Ксенофонта, Эврипида, Софокла, Юлия Цезаря, Варрона, Вергилия, Колумеллы и многих других древних писателей. Возникли новые идеи о почвах и питании растений, в частности, появились рассуждения о *водном питании растений*. В числе первых следует назвать работы гениального живописца, скульптора, архитектора, блестящего изобретателя в различных областях прикладных знаний итальянца **Леонардо да Винчи** (1452–1519). Это был человек необычайных творческих способностей и громадной эрудиции. Леонардо да Винчи занимался чуть ли не всеми науками поочередно, его любимым тезисом было: "Знание – это дочь опыта". Опыт как исходный пункт научного познания и математическая формулировка вытекающих из него выводов – вот путь, которым стремился идти Леонардо да Винчи. Он впервые стал рассматривать ботанику как самостоятельную биологическую дисциплину. Леонардо да Винчи дал описания листорасположения, гелиотропизма и геотропизма, корневого давления и движения соков растений. Он также изучал влияние воздуха, воды и минеральных частей почвы на жизнь растений, высказал мысль о круговороте веществ в природе.

Итальянец **Андрей Цезальпини** (1519–1603) первым сделал попытку дать более точную морфологическую и физиологическую характеристику растениям. Он предположил, что пища растений попадает из почвы в корень, а из корня по особым невидимым проводящим каналам в стебле направляется во все части растения. Механизм питания Цезальпини представлял следующим образом: пищевые вещества притягиваются корешками, как железо к магниту; в растительных венах больше пустоты, чем в окружающей почве, поэтому питательные вещества стремятся заполнить пустоту растений; корни растений вероятнее всего впитывают в себя влагу подобно фонарному фитилю, опущенному в керосин. Передвижение воды вверх по стеблю А. Цезальпини объяснял действием "жизненной теплоты", а также нагреванием растений от солнца.

Так же скрупулезно, по крупицам добывались в XV–XVI вв. знания, непосредственно относящихся к земледелию, физиологии растений и агрохимии. Агрохимия, или наука о питании растений, настолько тесно переплетается с физиологией растений, что трудно даже сказать, где кончается физиология и начинается агрохимия. Не зная физиологии растений, особенностей поступления питательных веществ в различные органы растений, невозможно говорить и о питании растений вообще.

О пользе удобрений люди знали давно. Как описывалось выше, уже земледельцы античного мира применяли их довольно широко, но объяснить действие удобрений они не могли, так как не было теории питания растений. В большинстве книг на сельскохозяйственные темы XVI столетия в решении этого вопроса не было сделано ни шага вперед по сравнению с сочинениями древнеримских писателей.

Французский естествоиспытатель **Бернар Палисси** (1510–1589) одним из первых наиболее правильно сформулировал свой взгляд на почву как источник питательных веществ, необходимых для питания растений. В 1563 г. в *"Научном трактате о различных почвах (солях) и сельском хозяйстве"* он писал, что "соль есть основа жизни и роста всех посевов. Навоз, который вывозят на поля, не имел бы никакого значения, если бы не содержал соли, которая остается от разложения сена и соломы ... Если кто засеивает поле несколько лет подряд, не унавоживая, то посевы извлекут из земли соль, необходимую для своего роста; земля, таким образом, обедняется солями и отказывается давать урожай, поэтому нужно ее удобрять или давать отдохнуть несколько лет, чтобы она снова приобрела некоторую соленость, происходящую из дождей и рос". Под солью автор подразумевал все необходимые для растений минеральные вещества. Б. Палисси не только высказал мысль о питании растений минеральными веществами, но и указал на необходимость пополнять их запасы в почве, которые уменьшаются при возделывании на них растений. Он отмечал, что после сжигания соломы в золе окажутся соли, которые растение поглотило из почвы, а, следовательно, вернуть их обратно – значит улучшить почву. Б. Палисси рекомендовал добавлять растворимые соли и мергель (уже употреблявшийся, по свидетельству Плиния Старшего, для той же цели римскими агрономами) к навозу и другим органическим удобрениям. Однако взгляды ученого на значение минеральных веществ в питании растений не были подкреплены необходимыми экспериментами, что делало их малоубедительными.

Голландский естествоиспытатель **Иоганн Батист Ван Гельмонт** (1577–1644) впервые в 1629 г. поставил опыты по изучению питания растений. В кадку с тщательно взвешенной почвой (91 кг) он посадил черенок ивы массой 2,25 кг. Регулярно поливал его дождевой водой. Через 5 лет масса растения увеличилась на 74,4 кг, а масса почвы уменьшилась лишь на 56,7 г. Результа-

ты этого эксперимента легли в основу "*водной теории питания растений*". И.Б. Гельмонт считал, что для жизни растений достаточно одной воды, т. е. он пришел к подтверждению учения древнегреческого философа Фалеса, который считал воду основой всех начал, что она, уплотняясь, дает органическое вещество для растений. И.Б. Гельмонт в своем эксперименте не учитывал количество усвоенного растениями углерода из углекислого газа. В то время не знали о роли диоксида углерода в создании биомассы растения. Не было и методов учета зольных веществ, поступивших в растение из почвы. Все это привело экспериментатора к ошибочным выводам.

Несостоятельность водной теории питания растений первым доказал английский ученый **Джон Вудворд** (1665–1728). Он занялся проверкой взгляда Фалеса и опыта И.Б. Гельмонта, так как ему казались неверными их утверждения о том, что это вода все делает. Д. Вудворд стал испытывать воду различного происхождения. Он взял дождевую воду, воду из реки Темзы, воду из водопровода в Гайд-парке в г. Лондоне, затем прибавил к воде некоторое количество садовой почвы и перегноя и обнаружил, как и следовало ожидать, значительную разницу в росте растений. Он сажал росток мяты, затем взвешивал растение после опыта и нашел следующий прирост биомассы: 1) в дождевой воде – 17 г; 2) в воде из водопровода – 139 г; 3) в воде, в который был взболтан перегной – 284 г. На основании этого эксперимента Д. Вудворд пришел к выводу, что материалом, из которого строятся растения, является особое землистое вещество, а не вода. Большая часть жидкой массы, проникающей в растения, по его мнению, не остается в них, а выходит через поры и испаряется в атмосферу. Материалом, из которого "строятся" растения, является земля, а не вода, заключил исследователь.

В 1650 г. немецкий химик **Иоганн Рудольф Глаубер** (1604–1670) первым высказал ряд замечательных мыслей о значении соли земли, или соли плодородия. Так, в своем трактате "*Deutscheands Wohlfahrt*" (1656) он утверждает, что "селитра есть основа роста всех растений". Говоря о селитре как о соли плодородия, И.Р. Глаубер употребляет одновременно и слово *nitrum* – "душа" селитры; на современном языке – это нитрат-анион. В сущности, он говорит о круговороте азота. По его мнению, начало селитры (*nitrum*) происходит из растений. И.Р. Глаубер писал, что "начало селитры из глубины земли поднимается в царство воздуха и оттуда возвращается пропитанное астральными влияниями вместе с росой и осадками" (астра-звезды). Это факт, что влага дождя и росы содержит некоторое количество азотной кислоты. Он говорит про *nitrum*: "Это птичка без крыльев, которая летает день и ночь". Это говорилось в 50-е гг. XVII столетия и было как бы началом будущих представлений о круговороте азота. И.Р. Глаубер знал об удобрительной роли селитры. Он советовал вносить ее в почву виноградников и смачивать раствором селитры посевной материал, чтобы повысить урожайность хлебов. В заключительной части своего труда И.Р. Глаубер употребляет и слово "азот". Правда, он имеет в виду не элемент азот и не составную часть воздуха, а неизвестное деятельное начало селитры. Он задает вопрос: а не есть ли "селитра" этот самый "азот" философов? Однако это, в сущности, правильное предположение прошло мимо внимания ученых XVII в., так как до открытия азота оставалось еще более 100 лет, а его роль в жизни растений была выявлена значительно позже.

2.3.1. Значение работ основателя современной химии

А.Л. Лавуазье для становления агрохимической науки

Исторический период становления и развития агрохимической науки связан с научной деятельностью французского химика Антуана Лорана Лавуазье (1743–1794). Его работы способствовали преобразованию химии в науку, основанную на точных измерениях; он систематически предлагал использовать количественные методы, в особенности точное взвешивание, к исследованию химических превращений. Руководствуясь законом сохранения массы, А.Л. Лавуазье опроверг ошибочную гипотезу флогистона, согласно которой считалось, что все горючие вещества, а также металлы, превращающиеся при обжигании в "извести", "земли" и "окалины", содержат начало горючести – флогистон, выделяющийся из них при горении или обжигании. Рядом точных опытов ученый показал сложность состава атмосферного воздуха и впервые правильно истолковал явления горения и обжигания как процессы соединения веществ с кислородом. Он совместно с инженером Ж. Менье показал, что вода – соединение водорода и кислорода; они же синтезировали воду из этих элементов. А.Л. Лавуазье совместно с К. Бертолле, Л. Гитон де Морво и А. Фуркруа разработали проект рациональной химической номенклатуры, которая вскоре стала общепринятой. В докладе Парижской Академии наук авторы подчеркивали: "В соответствии с предложенной нами программой мы обратили особое внимание на наименования простых тел, поскольку названия сложных тел должны получаться из названий простых. "Жизненный воздух" мы переименовали в "oxygene" (кислород), так как при сгорании в нем большинство веществ превращается в кислоты. Вещества, называемые ранее "известями", мы называем "оксидами". Название "горючий воздух" мы изменили на "hydrogene" (водород), так как наиболее характерным свойством этого газа является образование воды при его взаимодействии с кислородом. "Удушливый воздух" мы переименуем в "азот", так как он не поддерживает жизни, вредит жизни. Для названий различных кислот мы всегда брали производное от обозначения исходного элемента. Так, кислоту, получаемую из серы, мы назвали серной вместо купоросной, кислоту, полученную из фосфора, мы назвали фосфорной, из угля – угольной вместо воздушной". В своей новой химической системе А.Л. Лавуазье впервые разделил вещества на химические элементы, среди которых он выделил металлы, неметаллы и химические соединения. Исходя из представления о кислороде как химическом элементе, ученый выделил три класса соединений: кислоты (соединения кислорода с неметаллами), основания (соединения кислорода с металлами) и соли (соединения кислот с основаниями). Таким образом, А.Л. Лавуазье систематизировал совокупность химических знаний, в рамках созданной им общей теории. Это позволило не только объяснить известные ранее явления, но и количественно предсказывать новые. Старые, идущие от времен алхимии принципы классификации химических веществ он заменил новой, рациональной химической номенклатурой.

Основные принципы рациональной химической номенклатуры сохранились до нашего времени. В 1789 г. А.Л. Лавуазье опубликовал "*Начальный учебник химии*", где химия определялась как наука о составе веществ, об их анализе; вещества, которые в то время не могли быть разложены, он назвал простыми. В их число включил все известные в конце XVIII в. неметаллы, металлы, а также "земли" и радикалы. А.Л. Лавуазье отнес к простым веществам и гипотетические "невесовые начала", или флюиды – "свет" и "теплород". В предисловии ко второму тому "*Kanumala*" в 1885 г. Фридрих Энгельс так оценивал значение вклада А.Л. Лавуазье в развитие химии: "Пристли и Шееле описали кис-

лород, но они не знали, что они держали в руках. Они "остались приверженными" к категориям теории флогистона, как они их представляли. Элемент, который опрокинул теорию флогистона и призван был революционизировать химию, оказался в их руках бесполезным... Лавуазье... вновь подверг исследованию всю флогистонную химию и впервые открыл, что при горении не таинственный флогистон выделяется из горящего тела, а этот новый элемент соединяется с телом, и таким образом, он впервые поставил на ноги всю химию, которая в своей флогистонной форме стояла на голове".

Работы А.Л. Лавуазье имели большое значение для разгадки сущности питания растений. Он незадолго до смерти в неоконченной рукописи, найденной в архивах и опубликованной только в 1860 г., писал: "растения черпают материалы, необходимые для своей организации, в воздухе, который их окружает, в воде, вообще в минеральном царстве. Животные питаются или растениями, или другими животными, которые, в свою очередь, питались растениями, так что вещества, из которых они состоят, в конце концов, всегда почерпнуты из воздуха или из минерального царства... Брожение, гниение и горение постоянно возвращают атмосфере и минеральному царству те элементы, которые растения и животные из него заимствовали". Это было замечательное открытие, устанавливающее и воздушное и минеральное питание растений, свидетельствующее о разложении органических веществ и обратном превращении их в элементы питания растений. Современники А.Л. Лавуазье, к сожалению, не узнали о его гениальных открытиях.

2.3.2. Развитие учения о питании растений в трудах Ю.Г. Валлериуса, Н.Т. Соссюра и А.Д. Тэера

На рубеже XVII-XVIII вв. полностью была отвергнута *теория питания растений готовой пищей* и доказана несостоятельность *водной теории питания* растений. Однако многие вопросы корневого питания растений все же оставались загадкой. Химия как наука еще не существовала. Ученым требовался определенный исторический период, чтобы обобщить и осмыслить накопленные факты по питанию растений. Этот вакуум восполнила *гумусовая теория питания растений*. Термин "гумус" встречается еще во времена римлян, когда им часто обозначали почву в целом. Позднее это понятие относили к органическим веществам почв и компонентов или к разным фракциям этих веществ, а равным образом и к комплексным соединениям, полученным действием химических реагентов на некоторые органические вещества. Начиная от Теофраста (373–328 гг. до н. э.) до Ю.Г. Валлериуса (1709–1785), среди естествоиспытателей господствует понятие "oleum unctuosum" ("*мазеподобное масло*"), что равносильно понятию "почва" или "жир земли".

Великий ботаник **Карл Линней** (1707–1778) классифицировал почвы аналогично своей классификации растений. Среди разных типов почв у него можно найти: humus daedalea (садовая почва), humus ruralis (полевая почва), humus latum (навозная почва), humus damascena (глинистая почва) и humus chistosa (краснозем). К. Линней в своей книге "*Система природы*" (1740) писал: "За первичные земли я считаю лишь песок и глину; минеральных образований". Что касается "растительной земли – вся она возникает из гниющих растений и животных. Поэтому она ежедневно умножается, но с течением времени снова переходит в один из видов песка".

Юхан Готтшалк Валлериус в своей книге "*Основы земледельческой химии*" (1761) первым определил понятие гумус как название для разложившегося

ся органического вещества. Им же была выдвинута *гипотеза о питании растений гумусом*. Эта гипотеза отвечала практическим наблюдениям о высоком плодородии почв, богатых гумусом, но совершенно неверно исходила из якобы прямого усвоения корнями растения этого сложного органического вещества. В своем сочинении "*Fundamenta agriculturae chemical*" (1766), он утверждал, что зольные части растений, полученные им при химическом анализе, не тождественны с теми, которые содержит почва, и что они приготавливаются растением из воды и воздуха. "Жирной" субстанции гумуса Ю.Г. Валлериус придает главное значение и его объясняет действие на почву навоза и всякого перегноя. Солям почвы, в частности, селитре, он приписывает лишь значение растворителей "жира" почвы. Исходя из положения, что "*nutritio non fieri potest rebus heterogeneis, sed homogeneis*", Ю.Г. Валлериус заключил, что только органические вещества почвы являются питательными для растений (*nutritiva*), другие же составные части почвы играют роль вспомогательных (*instrumentalia*); так, по его мнению, мел (а может быть, и соль) может способствовать растворению жирных веществ гумуса.

Определенный стимул развитию гумусовой теории питания растений придал швейцарский естествоиспытатель **Никола Теодор Соссюр** (1767–1845). В своем знаменитом труде "*Химические исследования жизнедеятельности растений*" (1804) он особое внимание посвятил гумусу (*terreau*). Н.Т. Соссюр нашел, что гумус является не однородным веществом, а состоит из различных комплексов (экстрактивные вещества, жиры, соли), которые легко могут быть разделены, и что гумус способен поглощать кислород, который, соединяясь с углеродом почвы, дает угольную кислоту. Н.Т. Соссюр отводит большую роль в питании растений вытяжке из перегноя. Он отмечал, что перегной содержит те же самые зольные вещества, какие встречаются в растении. По его мнению, экстракт из перегноя в небольшом количестве поступает в растения наряду с другими веществами почвы.

Н.Т. Соссюру принадлежит и особая роль в разработке учения о воздушном питании растений. Первым экспериментально установил, что в темноте растение в процессе дыхания поглощает кислород и выделяет угольную кислоту, а на свету усваивает углерод угольной кислоты и выделяет кислород. Он доказал, что источником углекислого газа является не почва, а атмосферный воздух, что растения дышат, а при разложении углекислого газа усваивается не только углерод, но и элементы воды – водород и кислород.

Окончательно *теория гумусового питания растений* сформулирована немецким ученым **Альбрехтом Даниэлем Тэером** (1752–1828) в книге "*Основы рационального сельского хозяйства*". Он писал, что плодородие почвы полностью зависит от содержания в ней гумуса, так как кроме воды он является единственным веществом, необходимым для питания растений. А.Д. Тэер считал, что минеральные вещества почвы только способствуют усвоению растениями перегнойных веществ. Кроме того, он одним из первых классифицировал почвы Западной Европы в зависимости от гранулометрического состава, содержания гумуса и извести. О приверженности А.Д. Тэера к гумусовой теории питания растений свидетельствуют следующие его слова: "Собственно один только доведенный до степени приличного разложения перегной (*humus*) или растительно-животный навоз доставляют растениям существенное и необходимое для них питание". А.Д. Тэер пользовался в то время большой популярностью и авторитетом, что способствовало широкому распространению его взглядов на питание растений. И ныне в Германии, почти

через 200 лет после выхода в свет трудов А.Д. Тэера, его считают основоположником немецкого земледелия. Его труд "*Основы рационального сельского хозяйства*" продолжительное время служил своеобразной энциклопедией по агрономии, а многие положения и по сегодняшний день не потеряли своей ценности. В книге автор не только дал обобщающее изложение общих разделов земледелия, включая и смежные области знания, но впервые научно обосновал многочисленные проблемы, ранее базировавшиеся только на практическом опыте. А.Д. Тээр является и основателем сельскохозяйственного образования в Германии.

2.3.3. Ю. Либих и Ж.Б. Буссенго – основатели агрохимии как самостоятельной науки

Первым, кто правильно установил законы питания и применения удобрений в сельском хозяйстве, был немецкий агрохимик **Карл Шпренгель** (1787–1849). К. Шпренгель опубликовал свои взгляды на питание растений в сочинениях: "*Die Boden Kunde*" (1837), "*Die Lehre von den Urbarmachungen*" (1838), "*Die Lehre von Dünger*" (1839). О его воззрениях можно судить по следующим примерам. "Растения из неорганических веществ, получаемых ими из почвы и воздуха, образуют тела органические с помощью света, тепла, электричества и влаги", – пишет он в своей книге "*Учения об удобрении*". Ему было известно, и то, что некоторые минеральные вещества необходимы для образования белковых тел в растениях; так он говорит о постоянном присутствии фосфора в клейковине, приводит параллель с животными, у которых мозг постоянно содержит фосфор. Считая соли необходимыми для жизнедеятельности растений и зная их происхождение из почвы, К. Шпренгель пришел к объяснению падения урожаев при непрерывной культуре и к необходимости возврата минеральных веществ почве. "Воздух остается всегда одинаковым по своему составу, но нельзя того же сказать о почве; поэтому необходимо возмещение утраченного ею, причем нужно обращать больше внимания на так называемые минеральные вещества, чем на кислород, углерод и водород, т. к. эти последние растения находят в воздухе; что же касается азота, то он должен быть также внесен в связанной форме, т. к. большинство растений не имеет способности притягивать достаточно азота листьями из воздуха". Говоря об отдельных удобрительных веществах, К. Шпренгель всегда руководствуется их химическим составом, причем особое внимание обращено на те питательные вещества, которых мало в почве. Таким образом, мы видим у К. Шпренгеля то самое учение о значении минеральных веществ и необходимости возврата их. Лишь в одном пункте он сходится с гумусовой теорией и расходится с Ю. Либихом: К. Шпренгель, считая главным источником углерода в растениях углекислоту воздуха, не отрицает все же одновременного использования перегноя почвы корнями. Несмотря на оригинальность своих воззрений по питанию растений и многочисленные публикации по этому вопросу, К. Шпренгель не оказал заметного влияния на практику.

Разработка нового учения о питании растений и его практическое применение, которое происходило параллельно с введением минеральных удобрений, является величайшей заслугой выдающегося немецкого химика, иностранного члена-корреспондента Петербургской академии наук (1830) **Юстуса Либиха** (1803–1873), которого по праву считают одним из основателей агрохимии как самостоятельной науки. Он показал, что химические элементы поступают в растения двумя путями: одни, как углерод, из воздуха, другие –

в виде водных растворов из почвы. Ю. Либих провел широкие исследования, последовательно определив состав почв и содержание минеральных веществ в различных органах растений. По существу, он первым экспериментально доказал, что растения избирательно поглощают из почвы химические элементы. На основании этого открытия Ю. Либих разработал широко известную **теорию минерального питания растений**, способствовавшую внедрению минеральных удобрений в земледелие. Он первым правильно указал на целесообразность возврата почве минеральных веществ, в частности, фосфора, и на ее истощение при монокультуре. В окончательном виде теория минерального питания сформулирована и изложена в его знаменитой книге "*Химия в приложении к земледелию и физиологии*". О том, какой резонанс получила эта книга в научном мире, сообщает Э. Рассел (1955). Он пишет, что в 1830-1840 гг. агрономическая химия не привлекала большого внимания. Однако в 1840 г. знаменитый отчет Ю. Либиха о состоянии органической химии под названием "*Химия в приложении к земледелию и физиологии*" произвел в мире науки впечатление, подобное грому при ясном небе. В своем труде Ю. Либих опроверг гумусовую теорию питания растений. Он утверждал, что растения имеют неисчерпаемый запас углекислоты в воздухе. Если углекислота содержится в почве, то на ранней стадии роста растения экономится время, так как она поступает в корни растения и служит лишь дополнительным источником тому, что поглощает еще не полностью сформировавшийся фотосинтетический аппарат. Ю. Либиху, первому по достоинству оценившему роль фосфора и калия в жизни растений, принадлежат поистине крылатые слова: "Без этих двух элементов не может быть плодородия наших полей". Ему пришла тогда в голову фантастическая для тех времен мысль, что нужно удобрять поля, необходимо искусственно вносить в них разные соли калия, азота, фосфора, рассчитав, сколько их нужно для того, чтобы растение могло их использовать. Эта идея, как отмечает А.Е. Ферсман, была встречена с недоверием специалистами-аграрниками 40-50-х гг. XIX в. Его попытка включить в агротехнику чилийскую селитру не увенчалась успехом, а привезенный на парусных судах из Южной Америки груз этой соли, в силу своей дороговизны, не нашел покупателей и был выброшен в море. Источники фосфора тогда не были известны, а предлагавшийся Ю. Либихом размол костей давал также слишком дорогие удобрения. В то время не знали, как использовать и калий, и только изредка, собирая золу растений, рассыпали ее по полям.

Ю. Либих считал, что способность пахотного слоя почвы извлекать из соответствующих растворов аммиак, калий, фосфорную и кремниевую кислоты имеет свой предел, зависящий от свойств, присущих каждому виду почвы. Колебания адсорбированных количеств, говорил Ю. Либих, столь же велики, как велики различия между отдельными видами почв. В этом тезисе мы имеем гениальное предвидение того, что через 60 лет дала агрохимии теория К.К. Гедройца о почвенном поглощающем комплексе. Аналитическое мастерство, широта и глубина взглядов Ю. Либиха на питание растений покоряют и современного читателя его труда. Он писал: "Всякая почва лишь в том случае может считаться вполне плодородной для того или иного вида растений, скажем для пшеницы, если каждая из частиц ее, соприкасаясь с корнями, содержит все необходимые питательные вещества и притом в такой форме, которая позволяет корням усваивать эти вещества на любом этапе развития растения, в должное время и в надлежащем их взаимном соотношении". В этих словах Ю. Либиха мы видим предвосхищение идеи о разных соединениях элементов питания в почве, о значении условий питания и соотношения

между элементами питания по фазам вегетации растений, что было доказано лишь много лет спустя. Если его труды рассматривать с позиций современной науки, то в них содержатся довольно полные и достоверные сведения о роли ассимиляционного аппарата растения, сидерации, соотношении элементов питания, "интенсивной культуре" и определение понятия "удобрение". Ю. Либих стоял у истоков открытия основных законов земледелия, в первую очередь "Закона минимума" и "Закона возврата веществ в почву".

Несмотря на прогрессивность и оригинальность, теория минерального питания Ю. Либиха имела и свои недостатки. Она нуждалась в дополнении, уточнении и конкретизации научных фактов. Примером может послужить трансформация его взглядов в отношении азотных удобрений. Увеличение количества азота в луговых почвах, которые удобряли только щелочами и фосфатами, а также постоянное плодородие некоторых полей Виргинии и Венгрии, лугов Голландии послужило тому, что он все в большей степени стал считать атмосферу источником азота для растений. Поэтому некоторые разделы первого и второго изданий, где подчеркивалась необходимость внесения аммиачных удобрений, были исключены им из позднейших изданий. А.Н. Энгельгардт (1863) в своей рецензии на книгу Ю. Либиха "*Химия в приложении к земледелию и физиологии*" писал: " Эта книга должна быть настольной книгою каждого сельского хозяина, который желает рационально, а не по рутине заниматься своим благородным делом; ... ее с интересом и пользой прочитает всякий, кто желает познакомиться с условиями питания растений, и с основными законами земледелия. Написана она общепонятно, что ее может читать всякий образованный человек". Оценивая научный вклад Ю. Либиха в агрономическую науку, Д.Н. Прянишников указывал на огромное значение его идеи о минеральном питании растений, но подчеркивал, что для проведения ее в жизнь потребовалось много времени.

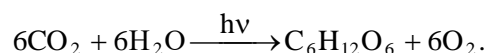
В горячей полемике с Д.Б. Лоозом, как представителем эмпирического направления в развитии английского сельского хозяйства, Ю. Либих указывал, что земледельцам нужны не только факты, а и их научное понимание. Сегодня с большой уверенностью можно сказать, что в полной мере оправдались прозорливые слова Ю. Либиха, сказанные еще в 1840 г.: "Придет время, когда каждое поле сообразно с растением, какое на нем имеют в виду разводить, будет удобряться свойственным удобрением, приготовленным на химических заводах, тогда удобрение будет состоять только из тех веществ, которые нужны для питания растения".

Большую роль в разработке *теории азотного питания растений* сыграл французский агрохимик **Жан Батист Буссенго** (1802–1887), который экспериментально доказал, что растения не могут питаться только атмосферным азотом, им нужен азот почвы. Для этого в 1851 г. он выращивал растения под стеклянным колпаком и в стеклянном шкафу с притоком воздуха, очищенного от азота. При этом выяснилось, что растения нормально развиваются без азота воздуха и свободный азот ими не поглощается. Он пришел к выводу, что азот необходим растениям так же, как и другие элементы питания, и что потребность растений в этом элементе удовлетворяется за счет почвы. В другом опыте, проделанном Ж.Б. Буссенго, азот, внесенный в почву в виде нитратов, давал урожаи, возрастающие пропорционально количеству внесенных нитратов. Пользуясь данными лабораторных и полевых опытов над растениями, ученый доказал, что навоз и зола из навоза по своим питательным свойствам не одно и то же, и что азот при сжигании навоза из него улетучивается. Ж.Б. Буссенго также установил, что азот в почве может быть как в усвояемых, так и в неусвояемых формах. Это не имеет значения для химика, но безразлично для растений.

Ж.Б. Буссенго принадлежит приоритет в открытии действия селитры на урожай. Будучи в Перу, он подметил, что на бесплодных песчаных почвах этой страны внесение небольшого количества гуано (продукт разложения птичьего помета в условиях сухого климата) позволяет получать довольно высокий урожай кукурузы. При химическом анализе выяснилось, что гуано состоит преимущественно из аммиачных солей. Родилась догадка, что именно эти соли и придают плодородие песчаной почве. Когда анализы и опыты подтвердили это, ученый сделал следующий важный вывод: "Единственными реагентами, способными действовать непосредственно на растение путем доставления азота организму, являются нитраты и аммиачные соли, либо существующие ранее в почве, либо образующиеся в продолжение культуры".

Ж.Б. Буссенго заметил разницу между злаковыми и бобовыми растениями по отношению их к азоту. Он писал, что "все растения, кроме бобовых, берут азот из почвы". Касаясь вопроса применения удобрений, Ж.Б. Буссенго констатировал, что наиболее эффективны те удобрения, которые наиболее богаты азотом. Связывая теорию азотного питания растений с плодородием почвы, он писал, что "культуры, берущие из почвы больше всего азота, ее наиболее истощают", и далее "для восстановления в почве той степени плодородия, которой она обладала до посева, следует внести с навозом эквивалентное количество азота". На основании исследования влияния азота удобрений на жизнедеятельность растений Ж.Б. Буссенго приходит к заключению, что фосфат кальция, щелочные и щелочноземельные соли, необходимые для развития растений, действуют в том случае, если вносятся вместе с веществом, способным доставить усвояемый азот. Атмосферный азот принимает участие в развитии растений, но в слишком малом количестве; селитра совместно с фосфатом кальция и щелочными солями действует как полное удобрение.

Ж.Б. Буссенго – основатель вегетационного метода исследований в области физиологии растений и агрономии. Он выполнил ряд оригинальных работ по изучению круговорота веществ в земледелии. Это позволило Д.Н. Прянишникову в учебнике "Агрохимия" сказать, что задачей агрохимии является изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в почве и растений, которые могут повышать урожай или изменять его состав. Используя точные методы химического анализа, Ж.Б. Буссенго заложил основы баланса питательных элементов в земледелии. В области физиологии растений он доказал, что источником углерода для автотрофных растений является углекислый газ воздуха. В дальнейшем он изучал газообмен в растениях и в 1840 г. предложил используемое и в настоящее время общее уравнение фотосинтеза:



Ж.Б. Буссенго автор двух капитальных трудов: "*Полевое хозяйство в свете химии, физики и метеорологии*" (т. 1-2, 1851) и "*Агрономия, земледельческая химия и физиология*" (т. 1-7, 1860-1864).

2.3.4. Значение работ Д.Б. Лооза, Ю. Сакса и И.А. Кнопа в создании науки агрохимии

Исследования Ж.Б. Буссенго нашли полное подтверждение в работе английского ученого **Джона Беннета Лооза** (1814–1900) – основателя Ротамстедской сельскохозяйственной опытной станции. Дж.Б. Лооз в 1843 г. заложил опыты по изучению разных норм азотных удобрений и знаменитый опыт

с бессменной культурой пшеницы. Это самый длительный опыт в мире. Проведенные им эксперименты убедительно показали, что азотные удобрения весьма эффективны, а азот воздуха не обеспечивает нормального питания растений. Дж. Б. Лооз одним из первых в условиях вегетационного опыта (1836-1838 гг.) показал важное значение фосфора в жизни растений и высокую эффективность применения фосфорных удобрений в полевом опыте (1840-1841 гг.). Он открыл первый суперфосфатный завод (1842 г.) и тем самым положил начало крупнейшей отрасли химической промышленности. Всемирно известная Ротамстедская сельскохозяйственная опытная станция, основанная Дж. Б. Лоозом в собственном имении в Харпендине (Англия), благодаря классическим многолетним опытам с удобрениями превратилась в один из важнейших научно-методических центров агрономической химии.

После блестящих работ Ю. Либиха и Ж.Б. Буссенго по минеральному питанию растений ученые заинтересовались, какие именно элементы и в каком количестве требуются растениям для роста. Были попытки выращивания растений в искусственных средах – в водной и песчаной культурах с добавлением различных питательных элементов. В 1859 г. дело завершилось полным успехом. В искусственных условиях зерновые культуры были доведены до полного созревания семян. Этого добились независимо друг от друга двое немецких ученых – **Юлус Сакс** (1832–1897) и **Иоганн Кноп** (1817–1891). Они создали метод водных культур и развили учение о минеральном питании растений. Метод водных культур, т.е. способ выращивания растений в дистиллированной воде с добавлением в нее растворимых солей вполне определенных химических элементов, сыграл огромную роль в выяснении вопроса о том, какие из находимых в почве и в золе растений элементов являются, безусловно, необходимыми для растений, а без каких они могут обходиться. При помощи этого метода Ю. Сакс и И. Кноп с полной убедительностью установили, что необходимыми для роста и развития растений являются К, Са, Mg, N, P, S и в очень небольшом количестве Fe. Что же касается других элементов золы растений, в т. ч. столь обычных в ней, как Si, Na, Cl и другие, то они были признаны излишними для питания растений, т. к. и в растворах, казалось, совершенно их не содержащих, водные культуры удавались очень хорошо. Позднее, однако, успехи в технике очистки солей, употребляемых для водных культур, от находящихся в них примесей, заставили внести существенные поправки в представление о необходимых для питания растений элементах.

2.3.5. Роль М.В. Ломоносова в развитии знаний о почве и агрономии в России

Ломоносов Михаил Васильевич (1711–1765) – русский ученый-энциклопедист, поэт, историк, художник, преобразователь русского литературного языка, поборник отечественного просвещения. Он родился в то время, когда Россия вступила в новый период своей истории; в недрах феодального общества крепла молодая национальная буржуазия, государство проводило мероприятия, которые способствовали развитию торговли и промышленности. Особенно прогрессивную роль в развитии производительных сил и национальной культуры в России сыграли реформы Петра I. Строились новые города, сооружались каналы, росли добыча и переработка руд, появлялись текстильные и стекольные мануфактуры. Петр I пригласил в Россию немало западноевропейских ремесленников и ученых, чтобы помочь преодолеть научную и техническую отсталость феодального государства. Немало внимания уделялось тогда и формированию русской интеллигенции. Реформы Петра I подготовили и учреждение

Академии наук, открытие которой в 1725 г. состоялось в только что построенной новой столице России Санкт-Петербурге. В последующие годы в стране возникли новые учебные заведения. Миссия первопроходца в науке М.В. Ломоносову была приготовлена самим ходом исторического развития страны.

Научная деятельность М.В. Ломоносова относится к различным областям естествознания и прикладных наук. Он провел важные исследования по геологии, минералогии, географии и агрономии. Своими открытиями ученый обогатил все области знания. Идеи, содержащиеся в работах М.В. Ломоносова, значительно опередили его время: последующее развитие естествознания подтвердило правильность многих предвидений великого русского ученого.

В 1756 г. М.В. Ломоносов провел знаменитые опыты по обжиганию металлов в закрытом сосуде. Наблюдаемое при этом увеличение массы ученый объяснил соединением их с воздухом и тем самым близко подошел к правильному истолкованию химизма обжигания и горения. М.В. Ломоносов развил атомно-молекулярные представления о строении вещества. Сформулировал принцип сохранения материи и движения.

В противоположность господствующим представлениям о теплороде М.В. Ломоносов утверждал, что тепловые явления обусловлены движением материальных частиц. В труде *"Опыт теории упругости воздуха"* (1748) он объяснил упругость газов движением частиц. Ученый четко разграничивал понятия "корпускула" (молекула) и элемент (атом), что нашло всеобщее признание лишь в середине XIX столетия. М.В. Ломоносов дал объяснения таким явлениям как молния, северное сияние, предложил конструкцию молниеотвода, развил оригинальную теорию атмосферного электричества, которая сводила электрические явления к микроскопическим движениям частиц эфира и таким образом исключала существование особой электрической материи. Он впервые установил (1761), что планета Венера окружена атмосферой. Положил начало русской научно-технической терминологии. Исключил флогистон из числа химических элементов. Заложил основы физической химии. Описал строение Земли и правильно объяснил происхождение каменного угля, нефти, торфа, горючих сланцев и других полезных ископаемых и минералов. Опубликовал руководство по металлургии.

М.В. Ломоносов оказал большое влияние на развитие биологических наук. Считал, что все явления природы носят эволюционный характер и что это приводит к естественному изменению Вселенной и земного шара. Изучил флору Петербургской губернии, разработал ботаническую терминологию. Впервые применил микроскоп для исследования растительных объектов. Установил химический состав некоторых красильных и лекарственных растений, разрабатывал вопросы физиологии растений. В своих работах ученый изложил господствующую в то время в науке водную теорию питания растений и высказал мысли об их минеральном и воздушном питании. В *"Слове о пользе химии"* (1751) он писал о том, что химия поможет "покрыть землю пшеницей вместо терния". М.В. Ломоносову принадлежит значительная роль в развитии учения о почве. Он первым высказал предположения о происхождении гумуса (чернозема). В своей книге *"О слоях земных"* (1763) М.В. Ломоносов дал правильное объяснение происхождению гумуса почвы. "Нет сомнения, – пишет он, – что чернозем – не первообразная и первообразная материя, но произошел от согнания животных и растущих тел со временем". М.В. Ломоносов считал, что в естественных условиях при образовании гумуса происходят те же процессы, что и в культурных почвах при разложении в них навоза и образовании пахотных, огородных земель. Отмечая сходность экологических факторов, влияющих на накопление органического вещества, он указы-

вал: "То же должно рассудить и о лугах на черноземе, где трава не бывает скошена и стравлена от скота и в навоз перегнивает, тук земной умножая". М.В. Ломоносова по праву можно считать и основоположником теории углеродного питания растений. Еще до открытия фотосинтеза он первым начал понимать роль зеленого растения на нашей планете, но не успел экспериментально проверить свои мысли. М.В. Ломоносов в "*Слове о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих*" (1753) писал: "Преизобильное ращение тучных деревьев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъясняет, что жирными листьями жирный тук в себя из воздуха впитывают: ибо из бессочного песку столько смоляной материи в себя получить им невозможно". К этой же мысли о некорневом питании растений, т. е. об усвоении листьями растений органических веществ и зольных элементов, а также азота из растворов, попадающих на поверхность листьев из атмосферы, М.В. Ломоносов возвращается в 1763 г. В своей работе "*О слоях земных*" он писал: "Откуда ж новый сок сосны собирается и умножает их возраст, о том не будет спрашивать, кто знает, что многочисленные иглы нечувствительными скважинками почерпают в себя с воздуха жирную влагу, которая тончайшими жилками по всему растению расходуется и разделяется, обращаясь в его пищу и тело". Идеи М.В. Ломоносова вскоре нашли развитие в трудах Д. Пристли, Я. Ингенхауза и Ж. Сенебье.

М.В. Ломоносов много внимания уделял вопросам сельского хозяйства. Он ходатайствовал перед правительством об учреждении "Государственной коллегии земского домостроительства", которая занималась бы изучением сельского хозяйства, включая лес, дороги, каналы, развитие ремесел в деревне. Для этой цели Коллегия должна организовать опытные участки с различными почвами и рельефом. В целях освещения заграничного агрономического опыта в России М.В. Ломоносов перевел с немецкого на русский язык книгу "*Лифляндская экономика*" (1747), в которой затрагиваются вопросы земледелия, скотоводства, птицеводства и пчеловодства. По его инициативе в 1765 г. при Российской академии наук был организован "Класс земледельчества", а также создано Вольное экономическое общество, сыгравшее большую роль в развитии отечественной агрономии. Всю свою жизнь М.В. Ломоносов стремился к передаче своих знаний народу и улучшению его материальной и духовной жизни. Большое значение имело для этого активное участие ученого в основании в 1755 г. первого в России университета – Московского, который с 1940 г. носит имя своего основателя.

2.3.6. Значение работ Дж. Пристли, Я. Ингенхауза и Ж. Сенебье для теории углеродного питания растений

Началом экспериментальных работ в области фотосинтеза можно считать исследования английского химика **Джозефа Пристли** (1733–1804). Он провел известный опыт с мышью и веткой мяты. Мышь под стеклянным колпаком погибла, а при наличии зеленой ветки мяты оставалась живой. Сам Д. Пристли описывал свой опыт так: "Я взял некоторое количество воздуха, совершенно испорченного дыханием мыши, которая в нем погибла; разделив его на две части, я ввел одну в сосуд, погруженный в воду, другую же часть его, также заключенную в сосуд с водой, я ввел ветку мяты. Через 9 дней я нашел, что мышь прекрасно жила в той части воздуха, в которой росла ветка мяты, но моментально погибла в другой части его". Из этого опыта он сделал вывод, что животные своим дыханием делают воздух непригодным для жизни, а растения исправляют его.

Голландский естествоиспытатель **Ян Ингенхауз** (1730–1799) на основе своих наблюдений установил, что очищение "испорченного" воздуха производится исключительно зелеными частями растений и только на свету. Он первым доказал, что при разложении углекислоты кислород поступает в воздух, а углерод поглощается растениями. Сами растения непрерывно дышат, но на свету значительно больше выделяют кислорода, а при отсутствии света сами используют некоторую часть его. В книге "*Опыты с растениями*" (1779) Я. Ингенхауз пишет: "Я нашел, что растения днем энергично отдают окружающему их воздуху кислород (или жизненный воздух)..., а ночью или в каком-нибудь темном месте выделяют угольную кислоту, состоящую из угля или углерода, связанного с тем же окисляющим началом, к которому он имеет большую тягу". Ученый установил также, что углерод составляет главную пищу растений.

Швейцарец **Жан Сенебье** (1742–1809) провел качественное и количественное изучение газообмена листьев. Он нашел, что для выделения чистого воздуха (как обнаружилось позднее – кислорода) необходим испорченный (углекислый газ). В этом процессе Ж. Сенебье видел не только "гигиеническое" средство очистки атмосферы, но и источник углеродного питания растений. Так им был обнаружен фотосинтез. Он же изучил влияние света различных областей спектра на фотосинтез. Ж. Сенебье высказал предположение, что в усвоении углекислого газа участвует "зеленая паренхима", "зеленый крахмал", т. е. хлорофилл*. Он же впервые совершенно точно определил роль света в деятельности листьев. Считал, что под его влиянием листья выполняют две функции: испаряют влагу, способствуя этим доступу новых порций "соков" из почвы и корней в различные части растений, и разлагают углекислый газ на составные части – углерод и кислород. Однако Ж. Сенебье ошибочно полагал, что листья углекислоту получают через корни вместе с водой. Он впервые в 1791 г. предложил термин "*физиология растений*".

2.3.7. Развитие учения о питании растений в работах К.А. Тимирязева

Особая заслуга в разработке теории углеродного питания растений принадлежит русскому ученому **Клименту Аркадьевичу Тимирязеву** (1843–1920). Он изучил зависимость фотосинтеза от качественного состава света; установил, что фотосинтез осуществляется в строгом соответствии с законом сохранения энергии: энергия солнечного света поглощается хлорофиллом и используется для образования органических веществ из углекислого газа и воды. "Растения, – писал ученый, – посредник между небом и землею. Оно истинный Прометей, похитивший огонь с неба. Похищенный им луч солнца горит и в мерцающей лучине, и в ослепительной искре электричества. Луч солнца приводит в движение и чудовищный механизм гигантской паровой машины, и кисть художника, и перо поэта". К.А. Тимирязев первым показал, что зеленая окраска хлорофилла является приспособлением для поглощения солнечной энергии, а максимум поглощения света хлорофиллом приходится на красную область спектра. Применяв точные методы физики и химии к физиологии питания растений, он своими трудами оказал существенное влияние на развитие фундаментальных положений агрономической науки.

В 1867 г. К.А. Тимирязев принял участие в проведении первых в России агрономических опытов, организованных Вольным экономическим обществом.

* Хлорофилл (от греч. "chloros" – зеленый и "phyllon" – лист) – зеленый пигмент растений, содержащийся в хлоропластах. Наименование предложено в 1818 г. французскими учеными П. Пельте и Ж. Каванту.

Под руководством профессора Д.И. Менделеева он закладывал полевые опыты для выяснения влияния минеральных удобрений на рожь и овес. На основании этих и последующих научных экспериментов ученым был высказан ряд теоретических положений о водном режиме, минеральном питании и иных вопросах жизни растения. Задачей ботаника-физиолога Климент Аркадьевич считал не только описание и объяснение явлений жизни растений, но и управление процессами их жизнедеятельности. Одним из основных принципов работы К.А. Тимирязева было изучение физиологии растений в связи с земледелием. Он считал целесообразным выведение сортов с мощно развитой корневой системой или пониженной транспирацией, обосновал возможность сокращения непроизводительных затрат воды растением при помощи удобрений; указывал на необходимость использования вегетационного метода в сельском хозяйстве и создания химических заводов по производству селитры; предсказывал производственное значение выращивания растений при искусственном электрическом освещении. К.А. Тимирязев высоко ценил научные положения одного из основателей агрохимии, Ю. Либиха, особенно о возврате в почву уносимых с урожаем недостающих в ней питательных веществ. В своей работе *"Земледелие и физиология растений"* он очень образно и доступно писал о теории минерального питания растений Ю. Либиха. Говоря о зольных элементах, Климент Аркадьевич подчеркивал: "Раз извлеченные из почвы, они сами не вернутся обратно, их может вернуть только та же сила, которая их извлекла оттуда, т. е. человек. Отсюда зола, извлеченная любым растением, – злаком ли или бобовым, – есть затронутый капитал почвы, который должен быть возмещен так или иначе, если мы желаем сдать землю потомкам такую, какою получили ее от предков. Это знаменитый "закон возврата", провозглашенный Ю. Либихом, и представляющий, как бы ни пытались ограничить его значение, одно из величайших приобретений науки". Одним из важнейших путей повышения продуктивности полей он считал расширение посевов бобовых культур. К.А. Тимирязев высоко оценивал открытие симбиотической фиксации азота бобовыми культурами, которое выделил как "одно из блестящих новейших приобретений учения о питании растений". Он впервые в России начал исследование физиологической роли микроэлементов в жизни растений. Об этом свидетельствуют результаты его экспериментов по изучению влияния железа, никеля, марганца, кобальта и цинка на превращение филоксантина в хлорофиллин.

В 1872 г. Климент Аркадьевич первый обратил внимание на устранение хлороза у растений при опрыскивании листьев водными растворами цинка. По поручению Министерства земледелия в 1896 г. К.А. Тимирязев устраивает опытную станцию на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде. По его плану был построен вегетационный домик, оборудованный необходимой аппаратурой и приборами. Кроме того, он в теплице заложил мелкоделяночные полевые эксперименты, на которых демонстрировал доступные широкой публике опыты по питанию растений. Все это служило предпосылкой для развития агрохимии в России. Здесь уместно привести слова самого К.А. Тимирязева: "Бросая обратный взгляд на пройденный путь, я, ... кажется, по совести могу сказать, что сделал, что мог, для того, чтобы обеспечить за ними (научными идеями. – Авт.) успех. Я исследовал вопрос со всех доступных сторон... совершенствуя приемы исследования и пользуясь для его объяснения каждым новым успехом в смежных областях химии и физики. Не покидая ни на минуту почвы прямого опыта... я ограничивался только ролью свидетеля, констатирующего факты и помнящего обязанность... говорить "истину, всю истину и ничего кроме истины".

2.3.8. В.В. Докучаев и П.А. Костычев – основоположники отечественного генетического и агрономического почвоведения

Отечественная наука о почве богата многими славными именами – В.В. Докучаев, Н.М. Сибирцев, П.А. Костычев, К.Д. Глинка, П.С. Коссович, А.Н. Сабанин, В.Р. Вильямс, А.И. Набоких, С.С. Неустроев, Б.Б. Польшов, Л.И. Прасолов, Г.Н. Высоцкий, С.А. Захаров, С.П. Кравков, А.А. Ярилов, А.А. Роде, Н.П. Ремезов, Л.О. Карпачевский, Г.В. Добровольский, М.А. Глазовская, А.П. Виноградов, Д.Г. Виленский, В.П. Бушинский, Н.И. Базилевич, С.В. Зонн, В.А. Ковда и И.С. Кауричев. Среди них привлекают исключительное влияние личности В.В. Докучаева и П.А. Костычева, которые оказали особенно большое влияние на развитие науки о почве – объекте исследования в агрохимии. Изучение содержания элементов питания и трансформации их соединений в почве, их доступности растениям, процессов превращений удобрений, их действие на свойства и плодородие почвы – важнейший раздел агрохимии. В этом направлении агрохимия непосредственно связана с почвоведением. Следовательно, рассматривать вопросы, связанные со становлением и развитием агрохимии в отрыве от науки о почве неправомерно.

Докучаев Василий Васильевич (1846–1903) – общепризнанный основоположник науки о почве. Именно он положил в основу почвоведения понятия о том, что "почва это особое тело природы" и ее формирование есть сложный процесс взаимодействия пяти природных факторов почвообразования: климата, рельефа, растительного и животного мира, почвообразующих пород и возраста страны. Он писал, что между мертвой и живой природой, между почвой, растениями и бактериями существует закономерная генетическая связь. В трудах В.В. Докучаева мы находим сведения о валовом химическом составе почв, включая данные о содержании органического вещества, K_2O , Na_2O , CaO , MgO , Mn_2O_3 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CO_2 , N , P_2O_5 , SO_3 . Оценено количество $NaCl$ и $CaCO_3$. Он дал анализ процесса гумификации, и сформированные им принципы лежат в основе современных представлений.

В.В. Докучаев установил закономерности строения почвенного профиля, закон горизонтальной зональности и высотной поясности почв, разработал методы исследования почв и основы их картографии. Он предложил первую научную генетическую классификацию почв. Свое учение о почве, которое принесло ему мировую славу, ученый создавал, разрешая практические вопросы: исследуя почвы, работая по оценке земель, разрабатывая мероприятия по борьбе с засухой. В.В. Докучаев писал, что все агротехнические мероприятия в сельском хозяйстве должны строиться с учетом зонального распределения почв, а само изучение почв должно проводиться комплексно с учетом всех факторов и условий почвообразования.

"Если желают поставить русское сельское хозяйство на твердые ноги, на торный путь и лишить его характера азартной биржевой игры, – писал В.В. Докучаев, – если желают, чтобы оно было приноровлено к местным физико-географическим (ровно как и историческим и экономическим) условиям страны и на них зиждилось (а без этого оно навсегда останется биржевой игрой, хотя бы годами и очень выгодной), безусловно, необходимо, чтобы эти условия – все естественные факторы (почва, климат с водой и организмы) – были бы исследованы, по возможности, всесторонне и непременно в взаимной их связи".

В.В. Докучаев изучал почву и составлял почвенные карты для того, чтобы управлять процессами, в ней происходящими, процессами, определяющими

жизнь почвы, ее плодородие, устойчивость и высоту урожаев сельскохозяйственных растений. "Я исключительно преследовал общие задачи, – писал ученый в предисловии к *"Русскому чернозему"*, – и стремился, по возможности, изучить чернозем с научной естественно-исторической точки зрения; мне казалось, что только на такой основе, и только после всесторонней научной установки этой основы и могут быть построены различного рода действительно практической меры к поднятию сельского хозяйства черноземной полосы России".

В ряде своих научных работ по классификации и оценке земель В.В. Докучаев детально учитывал процесс окультуривания почв при удобрении навозом, изучая плодородие удобренных почв при построении классификации и оценочных шкал.

Костычев Павел Андреевич (1845–1895) первым из российских ученых применил свои знания в области микробиологии к изучению процессов разложения растительных остатков, накопления перегноя, его свойств и влияния на плодородие; установил связь почвы с растительными формациями; изучил поглотительную способность почвы и указал на значение коллоидной ее фракции для образования структуры; дал оценку глауконитам в качестве калийных удобрений, изучил формы соединений фосфора в почвах и доказал возможность использования фосфоритов в качестве удобрения; подробно изучил трансформацию соединений азота в почвах; правильно объяснил условия образования чернозема, происхождение подзолов, серых лесных почв, солончаков, солонцов и предложил способы повышения их плодородия. П.А. Костычев высказал также ряд других весьма важных научных положений, которые впоследствии нашли подтверждение и широкое распространение в практике земледелия. Так, в своей работе *"Обработка и удобрение чернозема"* (1892) он впервые поставил вопрос об удобрении черноземов известью или мергелем. Он считал, что этот агроприем "может быть очень полезен для тех черноземных почв, в которых мало углекислой извести... Присутствие в почве этого вещества устраняло бы возможность появления свободных кислот в черноземе при влажном состоянии его и, следовательно, образование азотной кислоты могло бы тогда происходить в черноземе беспрепятственно". Много внимания ученый уделял также срокам внесения и способам заделки навоза. Немалый интерес он проявлял и к зеленым удобрениям. П.А. Костычев призывал не следовать вслепую опыту зарубежных стран, а учитывать условия и опыт ведения отечественного земледелия. П.А. Костычев – автор первого в России учебника *"Почвоведение"* и учебных пособий *"Учение о механической обработке почв"*, *"Общедоступное руководство к земледелию"*. Нельзя не отметить и ценные работы П.А. Костычева по применению удобрений. В книге *"Учение об удобрении почв"* (1884) он указывал на необходимость не только внесения удобрений, но и мобилизации запасов питательных веществ почвы.

2.3.9. Исследования по применению удобрений в России

Обширные российские просторы с богатым и многообразным растительным и почвенным покровом, широкое развитие земледелия определили большой интерес российских ученых к почвоведению, вопросам питания растений и применения удобрений. О вкладе российских ученых в мировую сокровищницу сельскохозяйственных знаний. профессор Мюнхенского университета Рамман писал в 1910 г: "Придется учиться русскому языку тем почво-

ведам, которые бы хотели стоять на современном научном уровне... Только благодаря русским почвоведом, почвоведение превратилось в обнимающую весь Земной шар науку".

Возникновение российской агрономической науки относят ко второй половине XVIII в., когда в 1770 г. профессор М.И. Афонин начал читать лекции в Московском университете по земледелию и домоводству. К числу видных русских агрономов второй половины XVIII и начала XIX вв. относят А.Т. Болотова, И.М. Комова, А.П. Пошмана, М.Г. Павлова, Я.А. Линовского, оставивших огромное литературное наследие по земледелию и, в частности, по применению удобрений, плодородию и свойствам почв.

Болотов Андрей Тимофеевич (1738–1833) сыграл большую роль в развитии отечественной научной агрономии. Многие из его агрономических работ появились в печати раньше трудов таких видных зарубежных ученых как Альбрехт Тэер, Карл Шпренгель, Юстус Либих, Жан Батист Буссенго, с именами которых на Западе связывают возникновение сельскохозяйственной науки, в частности агрохимии. Более 20 работ А.Т. Болотова посвящены вопросам использования удобрений, в их числе *"Об удобрении земель"* и *"О навозных солях"*. В книге *"Об удобрении земель"* (1770) ученый сделал свой замечательный по научному предвидению вывод о минеральном питании растений: "Рассматривая далее произрастание и рассуждая о его растении и содержании, находим, что оно от тех же самых вещей наиболее зависит, из которых оно, как выше упомянуто, составляется... немногие обстоятельства нам сию важную вещь объяснить могут. А именно: не видим ли мы, со сколь различным успехом произрастания растут на доброй и худой земле и во время доброй и худой погоды? Что иное сие значит, как только то, что в рассуждении земли одна земля имеет в себе более таких частиц, из которых произрастание составляется или которые росту его поспешествуют и оные уделяют ему способно, а другая либо сама собою в упомянутых потребных к тому частицах оскудение имеет, либо за какими-нибудь препятствиями оных произрастанию способно уделять не может". Таким образом, для хорошего роста и развития растений, по мнению А.Т. Болотова, необходимы два условия: 1) чтобы земля имела достаточно тех веществ, которые служат пищей для растения; излишек и недостаток таковых отрицательно влияет на развитие растений; 2) чтобы эта земля находилась в таком состоянии, которое переводило бы питательные вещества в легкоусвояемую форму. Все удобрения, которые в то время применялись, ученый делит на два вида: обыкновенные (навоз, перегной) и искусственные (зола, известь). Отмечая, что всего лучше удобряет землю навоз, он спрашивает, что именно в навозе "помогает хлебородию"? Распространенное тогда мнение, что "большему хлебородию" содействует "навозный сок", А.Т. Болотов считает неосновательным и поверхностным. "Ибо хотя то и правда, что сок причиною, – пишет он, – но надобно знать, что такое в самом сем соку находится, которое пользу производит". Таким веществом он считает "некоторого рода соль", принадлежащую к классу минералов. А.Т. Болотов отводит навозу большую роль в сохранении почвенного плодородия и дает некоторые конкретные рекомендации по его использованию. Его указания о хранении навоза в специальных навозохранилищах или в уплотненных кучах остаются правильными и до настоящего времени.

Афонин Матвей Иванович (1739–1810) – первый в России профессор по земледелию. Наиболее актуальной проблемой земледелия считал изучение химических свойств почв. Именно этому посвятил М.И. Афонин единственное из

опубликованных им сочинений – *"Слово о пользе, знании, собирании и расположении чернозему, особливо в хлебопашестве"*. Здесь он высказал свои представления о происхождении гумуса из остатков "трав и растений" под влиянием воды, атмосферного воздуха и населяющих почву живых организмов. Классифицируя "черноземы", ученый выделяет почвы с повышенной кислотностью и указывает, что зола сожженного торфа может служить хорошим удобрением. М.И. Афонин призывал к исследованиям и инвентаризации земель государства, указывал на необходимость составления своего рода "паспорта" для каждого поля с точки зрения его природных свойств и качеств.

Комов Иван Михайлович (1750–1792) был горячим сторонником изучения питания растений, механического и химического анализов почв, дал первые рекомендации по применению органических удобрений и сыромолотого известняка. Важнейшей задачей земледелия он считал восстановление и поддержание почвы: "главное земледельца дело состоит в том, чтобы худую землю удобрить и, удобрив, стараться, чтобы доброты не теряла". В своей книге *"О земледелии"* (1788) И.М. Комов следующим образом определяет сущность земледелия: "... земледелие есть мать всякого ремесла и промысла. ... Земледелец же и с высокими науками тесный союз имеет, каковым суть история естественная, наука лечебная, химия, механика и почти вся физика, и само оно ни что есть иное, как часть физики опытной, только всех полезнейшая". Здесь он подробно излагал значение отдельных сельскохозяйственных культур, говорит о необходимости удобрения "худой" земли, подчеркивает значение навоза не только как удобрения, но и его роль в сохранении влаги в почве, в улучшении ее структуры. И.М. Комов подробно описывает приготовление фекальных компостов. Куриный помет он предлагает вносить под озимь во время сева вместе с семенами, либо весной, когда сойдет снег, в подкормку. Навоз ученый рекомендует вывозить на поле свежим, а не сторовшим или сгнившим, так как при этом "сила питания" исчезает. После вывозки в поле навоз должен немедленно заделываться в почву. И.М. Комов отмечал также важную роль извести для повышения урожаев сельскохозяйственных культур. Много внимания он уделял известкованию кислых почв, применению золы, торфа и других местных удобрений: "Известь глинистую почву делает не только рыхлой, но и всякую кислоту, в глинистой по большей части земле находящуюся, истребляет".

Пошман Антон Павлович (1792–1852) в 1809 г. опубликовал книгу *"Наставление о приготовлении сухих и влажных туков, служащих к удобрению пашен"*. Этот труд является результатом самостоятельных исканий автора в области применения удобрений в земледелии. А.П. Пошман пишет: "Земледельцу ничто столько в удобрении пашни его не препятствует, как недостаток потребного к тому тука. Кому не известно, что и лучшая пашня, дабы не лишена была доброго ее свойства, должна быть по временам унавоживаемая, тем паче нужно исправлять и насыщать тощую и дурную почву, дабы приносила добрые плоды и награждала тяжкий труд земледельца". Навоз он подразделяет на обыкновенный и сухой. Первый получается от скота, а второй – путем сжигания растений. По существу, А.П. Пошман одним из первых высказал мысль о наибольшей эффективности применения органо-минеральной системы удобрения. Он четко сформулировал и задачи, стоящие перед наукой об удобрении полей: "Смотреть больше нужно на свойство почвы или мало она требует навоза. Все лишнее в натуре не только не полезно, но и вредно". "Многие хозяева, – пишет далее, – думают, что избыточное унавоживание пашни весьма по-

лезно; но опыт показывает противное. Хлеб вырастает на весьма унавоженной пашне слишком в солому, а зерен мало приносит". А.П. Пошман указывал, что "щелочно-соляные вещества" являются пищей растений и содержатся в навозе и золе от сжигания растений. Таким образом, за много лет до опубликования Ю. Либихом теории минерального питания А.П. Пошман писал о значении минеральных солей в питании растений. Известь он считал "за побудительную силу произрастания" и рекомендовал применять ее на тяжелых холодных почвах. А.П. Пошман впервые в науке предложил приготовление сухих туков. С этой целью ученый предложил переносную печь. Он сжигал различные вещества: мох, вереск, папоротник, торф, шишки, листья, ботву, камыш и тростник. К сжигаемому органическому веществу для приготовления сухих туков А.П. Пошман добавлял мергель и глину.

Павлов Михаил Григорьевич (1793–1840) профессор Московского государственного университета по кафедре "физика, минералогия и сельское хозяйство". Он читал попеременно курсы физики, минералогии, технологии лесоводства и сельского хозяйства. В лекциях М.Г. Павлова, впервые для России, курс сельского хозяйства излагался как самостоятельная научная дисциплина. "Сельскому хозяйству, – говорил он, – надо учить, как науке". "Кто без сведений о природе хочет быть агрономом, тот только агроман... Сельское хозяйство сознательное (рациональное), предпринимаемое с разумением дела, начинается с опытов. Все в сельском хозяйстве есть извлечение из случаев частных, из производств особенных, из обстоятельств местных. Разум, исследуя частности, особенности местности, дивною силою отвлечения превращает их в понятия или сведения, соподчиняя их одни другим, частные – общим, низшие – высшим, наконец, до начал, которыми все стяженное им таким образом связывается в стройное целое, образуя систему ведения – науку..." "Учить сельскохозяйственной науке, значит знакомить с вековой опытностью предшественников", – писал М.Г. Павлов в журнале "Русский земледелец" в 1838 г. М.В. Павлов впервые в России увязал химию с агрономией и издал книгу *"Земледельческая химия с предварительным изложением к сей части, и ко всей науке сельского хозяйства – приготовительных сведений из известных наук с показанием разных способов земледобрения и с начертанием правил пахания"* (1825). Здесь он писал, что "земледельческая химия есть наука о веществе тех исключительно предметов, которые имеют отношение к земледелию и знание вещества коих может руководствовать к выгоднейшему устройству производства сего искусства".

В вопросах плодородия почвы и питания растений М.Г. Павлов первоначально исходил из теории А.Д. Тэера о гумусовом питании растений. Впоследствии ученый отходит от нее. В уже упомянутой книге *"Земледельческая химия ..."*, он писал: "Главный материал питания растений есть чернозем; с ним в непосредственном соприкосновении находится корень; следовательно, чернозем переходит в растение посредством корня; но, разрезывая корень, мы не находима в нем чернозема. И самое строение сего органа в состоянии уверить, что он твердых веществ поглощать не может". В другом месте того же труда он писал: "Чернозем не поглощается корнем в настоящем своем виде, но в измененном, а именно – в виде слизи, растворенной водою". Под черноземом М.Г. Павлов, в соответствии с учением М.В. Ломоносова, понимал "черного цвета оземленелый остаток согнивших растений и животных". Позже, в *"Курсе сельского хозяйства"*, ученый еще более отходит от теории А.Д. Тэера и развивает свою, близкую к действительности, концепцию пита-

ния растений с использованием ими минеральных соединений почвы и некоторых элементов воздуха. Он отмечает, что "растения возникают не всегда из чернозема"; многие, особенно низшие, "возникают и там, где только при благоприятном воздухе и теплоте достаточно влажности. Здесь, следовательно, силою произрастания в органическое вещество превращается неорганическое. Растения, возникшие не из чернозема, разрушаясь, превращаются в чернозем. Растущие на черноземе также не одним им питаются, но особенно широколиственные, много пищи поглощают и из атмосферы; следовательно, разрушаясь, земле возвращают чернозема более, нежели сколько из нее поглощают его: таким образом тучность земли усиливают". Взаимовлияние почвы и растения постоянны. Почва – "среда растительного пищеварения", "магазин условий произрастания". "Пища растений прежде, нежели поглощается корнем, перерабатывается еще в почве. А поэтому весьма справедливо почву сравнивают с желудком животных". Почву М.Г. Павлов понимает в развитии. Изложенные концепции ученого о питании растений, о взаимовлиянии растения и почвы, о динамичности почвенного процесса образны и близки к нашим современным представлениям.

Удобрять почву, по М.Г. Павлову, значит сделать ее более плодородной. "Землеудобрение" может быть осуществлено с целью улучшения физических свойств, или устранения кислот, или повышения плодородия. Целью последнего, по его мнению, "является умножение в почве питательных веществ или, по крайней мере, вознаграждение того, что похищается из земли возрастающими на ней растениями с помощью органических удобрений". М.Г. Павлов пропагандировал прогрессивную систему севооборота, указывая на необходимость замены существовавшей в России трехпольной системы, вносил предложения по коренному улучшению обработки почвы, в частности, сам сконструировал особую систему плуг, получивший название "плужок Павлова"; организовал сельскохозяйственную школу для обучения детей крепостных крестьян. В организованном им учебном хозяйстве на заболоченной прежде почве, он добивался высоких урожаев, применяя осушение, известкование, углубление вспашки, навоз и костную муку, гипсование, зеленое удобрение (смесь вики и гречихи). До настоящего времени сохранили свое значение его рекомендации по применению полуперепревшего навоза. Главной задачей применения удобрений он считал "...исправление недостатков почв, не имеющих всех качеств земли плодородной".

Линовский Ярослав Альбертович (1818–1846) был сторонником широкого внедрения травосеяния и применения удобрений. Менее чем за три года своей работы в Московском университете издал две крупные уникальные работы: *"Беседы о сельском хозяйстве"* (1845) и *"Критический разбор мнений ученых об условиях плодородия земли с применением общего выхода к земледелию"* (1846). В этих работах вопрос об условиях плодородия земли он называет "существеннейшим предметом" сельскохозяйственной науки и практики. Я.А. Линовский дает критический разбор учений о питании растений и плодородии почвы, начиная с древнегреческих естествоиспытателей и кончая агрокультурхимическими школами Ю. Либиха и Ж.Б. Буссенго. Он первым предложил для различных регионов России мероприятия по восстановлению, поддержанию и повышению плодородия почвы. Указывал на необходимость развития орошения и лесоразведения в условиях степного земледелия и проведения мероприятий по осушению в нечерноземной полосе; составил первую карту торфяников Московской губернии и наметил приемы их использования.

Выдающимися учеными в области агрохимии второй половины XIX в. считают Д.И. Менделеева, П.А. Ильенкова, И.А. Стебута, А.Н. Энгельгардта, А.Е. Зайкевича, П.А. Костычева, А.В. Советова и П.С. Коссовича.

Ильенков Павел Антонович (1821–1877) в 1865-1875 гг. заведовал кафедрой органической и агрономической химии в Петровской земледельческой и лесной академии. Он разработал (1865 г.) метод получения удобрений путем переработки костей щелочами, подготовил ряд руководств по агрономической химии, перевел на русский язык книгу своего учителя Ю. Либиха "*Химия в приложении к земледелию и физиологии*", в течение 10 лет читал курс агрономической химии. П.А. Ильенков впервые в России ввел в преподавание курс сельскохозяйственного анализа – основ методики агрохимических исследований.

Говоря о качестве перевода П.А. Ильенковым книги Ю. Либиха "*Химия в приложении к земледелию и физиологии*" А.Н. Энгельгардт (1863) писал: "П.А. Ильенков пользуется заслуженной известностью в русской ученой литературе; его ученая диссертация, его замечательный курс химической технологии, его популярные статьи по естествознанию в "*Современнике*" оценены по достоинству. Имя П.А. Ильенкова служит ручательством, что перевод книги Ю. Либиха сделан добросовестно и с полным знанием дела".

Советов Александр Васильевич (1826–1901) активно участвовал в работе Вольного экономического общества, в котором около 30 лет (с 1860 г.) был председателем сельскохозяйственного отдела и редактором "*Трудов*" этого общества. В 1885-1896 гг. совместно с В.В. Докучаевым и в 1898-1900 гг. – с Н.П. Адамовым издавал "*Материалы по изучению русских почв*". Труды А.В. Советова посвящены разработке рациональных способов ведения сельского хозяйства; он обосновал целесообразность посевов бобовых и злаковых трав на полях, введение севооборотов, исследовал развитие систем земледелия в России. Он, первый в России доктор сельского хозяйства, рассматривал многолетние травы как источник повышения плодородия почвы. А.В. Советов дал критический анализ русской и европейской практики травосеяния и систем земледелия. Одним из первых он начал исследования степных черноземных почв России. А.В. Советов придавал огромное значение науке в подъеме сельского хозяйства. "Наука, – писал он в монографии "*О разведении кормовых трав на полях*", – владеет средствами, которых не знают и не могут иметь опыт и практика". Далее А.В. Советов подчеркивал, что "истина, добытая путем науки, всегда сильнее тысячи рецептов, написанных на основании одного опыта. Опыт хорош, но при свете науки, а без нее он неправильно толкуется и объясняется".

Энгельгардт Александр Николаевич (1832–1893), профессор химии Петербургского земледельческого института, автор "*Писем из деревни*" и "*Химических основ земледелия*", был горячим пропагандистом применения удобрений. В своих "*Письмах из деревни*" он подчеркивал, что "города всегда будут спускать в реки массу удобрительных веществ, драгоценнейших почвенных частиц и истощать, таким образом, земли, на которых производятся необходимые для потребления городов хлеб и другие продукты". Истощение почв А.Н. Энгельгардт объяснял тем, что "много лет уже вывозят из хозяйств зерновой хлеб, мясо и пр., не возвращая на поля и луга вывезенных веществ, обуславливающих плодородие почвы". Истощенные почвы нуждаются в удобрении, а навоза недостаточно. Поэтому ученый обращал внимание сельских хозяйств на использование костей и золы, "которые до сих пор у нас большей частью пропадают бесполезно", а также на развитие травосеяния. В книге "*Химические основы земледелия*" он высоко оценивал значение минеральных удобрений в деле повышения плодородия почв.

А.Н. Энгельгардт писал, что "если химики и физиологи еще не открыли искусства делать хлеб и мясо из элементов, зато они указали нам, как направить силы природы для увеличения производительности земли". Он подчеркивал, что для того, чтобы растение могло расти и дать урожай, необходимо, чтобы в среде, где оно живет, находились те элементы, которые мы обнаруживаем в нем, и эти элементы должны находиться в виде тех соединений, которые годны для питания растений. Им были выполнены работы по использованию фосфоритной муки в качестве фосфорных удобрений. На основании глубоких агрохимических исследований фосфоритов ученый делает вывод: "В фосфоритной муке мы имеем могущественное средство для разработки наших пустошей, составляющих в Северной России главную массу". Большое значение А.Н. Энгельгардт придавал зеленому удобрению. Он считал, что фосфоритная мука и сидерация – средства для приведения в культурное состояние громадных масс северных земель. В своей книге *"Фосфориты и сидерация"* он подробно излагал особенности повышения эффективности фосфоритной муки и применения сидерации полей. А.Н. Энгельгардт обследовал залежи фосфоритов в Курской, Смоленской, Орловской и Воронежской губерниях. В результате его работ последовало более активное использование минеральных удобрений в России, началась разработка залежей фосфоритов, а в 1868-1869 гг. построили первые заводы по производству фосфоритной муки в Тамбовской, Курской губерниях, в Прибалтике близ Риги (Болдероа). С именем А.Н. Энгельгардта связана организация сельскохозяйственного опытного дела в северной Нечерноземной полосе России. Крупные агрохимические исследования, выполненные им, и многие выводы, вытекающие из них, впоследствии стали основополагающими в агрохимии.

Стебут Иван Александрович (1833–1923) – автор фундаментальных трудов *"Основы полевой культуры и меры к ее улучшению в России"*, *"Известь как средство восстановления плодородия почв"*, *"Гипсование почвы"*, *"Удобрение гипсом"*. В своих рекомендациях ученый акцентировал внимание на вопросах агрохимии; внес значительный вклад в развитие сельскохозяйственного образования и опытного дела в России. В 1904 г. он организовал Высшие женские сельскохозяйственные курсы (так называемые Стебутовские курсы) – первое в России высшее учебное сельскохозяйственное заведение для женщин. И.А. Стебут являлся автором учебника *"Частное растениеводство и полеводство"* (1888); основателем и редактором (1869-1870) журнала *"Русское сельское хозяйство"*. Труды И.А. Стебута по агрохимии являются оригинальными, первыми обстоятельными научными сочинениями, основанными на отечественном и зарубежном опыте. Эти работы стали, несомненно, важным этапом развития агрохимической науки в России.

Калиновский Яков Николаевич (1814–1903) – основатель кафедры агрохимии в Московском государственном университете. Он возглавлял ее с 1863 по 1872 гг., способствовал становлению и развитию агрохимии в России. Многочисленные выпускники Московского государственного университета познакомились с азами агрохимии по уникальным лекциям Я.Н. Калиновского.

Менделеев Дмитрий Иванович (1834–1907) – ученый с мировым именем. 31 января 1865 г. защитил докторскую диссертацию на тему: *"О соединении спирта с водой"*, что послужило основанием для изобретения водки; 17 января 1869 г. сообщил об открытии периодического закона химических элементов; опубликовал учебники: *"Органическая химия"* (1861) и *"Основы химии"* (ч. 1, 1869; ч. 2, 1871). Большая роль ему принадлежит и в развитии агрохимии. С именем ученого связана первая закладка в России полевых опытов с минеральными удобрениями. В течение трех лет в Смоленской, Петербургской, Московской и Симбирской губер-

ниях по единой методике проводились опыты, которые он рассматривал как "особый способ исследования состава почвы". Его мысли о производстве и применении удобрений не потеряли свою значимость и по сей день. Д.И. Менделеев предсказал в развитии агрохимии, опытного дела и сельскохозяйственной практики то, чему суждено было начать осуществляться в широких масштабах лишь через полвека после его агрохимических опытов. Он еще в 1866 г., выступая в Вольном экономическом обществе, указал, что прогресс сельского хозяйства возможен лишь на прочной научной основе, состоящей не только из теоретических сведений и наблюдений, но и из данных прямых, специально поставленных опытов. Важное значение при проведении опытов придавал изучению физико-химических свойств почв и удобрений, доступности питательных веществ для растений, разработке эффективных технологий приготовления и способов внесения удобрений. "По химическому исследованию почвы, – писал ученый, – надо суметь судить об необходимых для почвы удобрениях и обработке, как имеют возможность судить по анализу руды о способе добытия из нее металла..., как сумели по анализу стали судить о свойствах стали. Задача эта еще мало затронута, хотя иные и думают об этом иначе". Он указывал на необходимость одновременного обеспечения растений всеми необходимыми элементами, перечень которых уже был известен, полностью признавая, таким образом, закон незаменимости и равнозначимости факторов жизни растений. Однако анализ почвы в сопоставлении с урожаями убедил Д.И. Менделеева, что плодородие почвы зависит не столько от валового содержания питательных элементов, сколько от наличия веществ, доступных для растений. К последним он относил водорастворимые соли и вещества, растворяющиеся в кислотах, хотя бы и слабых, как, например, угольная. Вот почему в проведенных под руководством Д.И. Менделеева анализах почвы преимущественное внимание было обращено на исследование кислотных вытяжек. Придавая большое значение формам питательных веществ и почве, он разграничивал эффективное плодородие, называя его "зрелостью или спелостью" почвы, от плодородия потенциального ("количество составных частей"). Д.И. Менделеев не забывал и об огромном агрономическом значении физических свойств почвы, влиянии на них механического состава и наличия органического вещества. Правильно оценивал он и поглощательную способность почвы как фактор, препятствующий вымыванию катионов, остающихся при этом (как калий) доступными для растений. Поглощенный калий и с современной точки зрения является ближайшим резервом калийного питания растений. Анализируя результаты опытов с удобрениями, писал: "Что касается влияния различных удобрений, взятых для опыта, то больший урожай получился от самого сложного удобрения, составленного из навоза, извести, золы, суперфосфата и роговых стружек". Особое внимание уделял фосфорным удобрениям. Он неоднократно отмечал роль азота на бедных почвах, как необходимого фона для эффективного действия фосфорнокислых удобрений, что подтвердилось впоследствии многочисленными опытами в Нечерноземной полосе. Значение форм фосфора в самих удобрениях также не ускользнуло от внимания Д.И. Менделеева. Наличие в почвенном растворе слабых кислот и, в частности, угольной он придавал большое значение как фактору, способствующему переводу нерастворимой в воде и потому не доступной для растений соли $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в усвояемую ими форму.

Пропагандируя азотные удобрения, Д.И. Менделеев гениально предвидел, что со временем "найдется прием, позволяющий вводить в землю те условия или те вещества, которые заставят недействительный азот воздуха превратиться в усвояемый аммиак и азотную кислоту". И действительно, с расширением клеверосеяния и зеленого удобрения появились и новые приемы усиления

связывания азота воздуха на поле, такие как инокуляция, нитрагинизация и применение свободноживущих азотфиксаторов.

Д.И. Менделеев рекомендовал калийные удобрения для тех полей, на которых должно наступить быстрое истощение солей калия вследствие неприменения навоза или возделывания трав и корнеплодных растений. В частности для России, не имевшей еще своих калийных солей, рекомендовал использовать золу, являющуюся одновременно калийным, фосфорнокислым и известковым удобрением. Зола, названная в свое время Д.Н. Прянишниковым "непризнанным Стассфуртом", не утратила своего значения у нас, и после открытия соликамских солей.

Д.И. Менделеев придавал большое значение в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почвы применению органических удобрений. "Навоз, – указывал Д.И. Менделеев, – никогда не утратит своего значения, так как он является наиболее дешевым, повсеместно распространенным, пригодным для различных севооборотов и наиболее полным в отношении набора зольных веществ удобрением, улучшающим к тому же физические свойства почвы и пополняющим в ней естественно совершающуюся убыль органического вещества". Для России, не имевшей своей химической промышленности, считал использование навоза делом первой важности, и тесно связывал его с развитием животноводства и травосеяния. Он был убежденным пропагандистом известкования. Считал наиболее важными причинами действия извести на нечерноземных почвах: 1) систематическое обеднение почв известью вследствие вымывания ее из пахотного слоя содержащими углекислоту водами, 2) улучшение под влиянием извести физических свойств почвы, 3) нейтрализацию известью избыточной кислотности, 4) улучшение при известковании условий нитрификации в почве. "В сумме, по моему мнению, – писал он, – влияние извести можно выразить тем мало точным, но для практика, знающего землю, понятным выражением, что она способствует спелости почвы". Для нечерноземных почв он считал известь "наиболее приличным... удобрением средством". Все приведенные соображения о характере действия извести и о народнохозяйственном значении известкования правильны и с современной точки зрения.

Касаясь вопроса внесения удобрений, Д.И. Менделеев неоднократно подчеркивал, что удобрительные вещества должны равномерно распределяться в земле, чтобы корни находили их во всех направлениях. Перспективными казались ему и приемы припосевного внесения удобрений путем смачивания семян, смешения их с сухими удобрениями. Серьезное внимание обращал он на дозировку удобрений: "...для каждого удобрения должно знать его максимум возможный и его минимум выгодности и не превосходить его, иначе можно поплатиться убытком". Д.И. Менделеевым была разработана специальная программа по выявлению эффективности удобрений в различных регионах России. Для этого им были созданы опытные станции в Петербургской, Московской, Смоленской и Симбирской губерниях, т. е. им были заложены основы Географической сети полевых опытов для выяснения закономерностей в действии удобрений по почвенно-климатическим зонам. Из русских ученых Д.И. Менделеев первым предвидел те колоссальные выгоды, которые может принести удобрение почв, и первым предсказал, что со временем возникнет вопрос о построении целой системы земледелия, основанной на применении удобрений. Мы являемся свидетелями того, как научная система удобрения, будучи частью общей системы мероприятий по повышению урожайности, все больше входит в наше отечественное сельское хозяйство. Д.И. Менделеев особо отметил значение обработки почвы как фактора эффективности удобрений. Он пи-

сал в этой связи: "Я восстаю против тех, кто печатно и устно проповедует, что все дело в удобрении, что хорошо удабривая, можно и кое-как пахать".

Лясковский Николай Евстафьевич (1839–1893) – ученик Ю. Либиха. Свою научно-педагогическую деятельность начал с организации при кафедре агрохимии МГУ почвенно-химической лаборатории. Это было знаменательным событием в жизни кафедры; стало возможно заниматься экспериментальной работой. Н.Е. Лясковский впервые установил, что содержание белка в зерне пшеницы увеличивается по мере продвижения с Северо-Запада на Юго-Восток Европейской части России. Магистерская диссертация "*О химическом составе пшеничного зерна*" и докторская – "*Прорастание тыквенных семян в химическом отношении*" свою научную значимость не утратили и в настоящее время.

Густавсон Гавриил Гаврилович (1842–1908) с 1875 г., после П.А. Ильенкова, заведовал кафедрой органической и агрономической химии в Петровской академии, составил первую учебную программу курса агрономической химии и написал книгу "*Двадцать лекций по агрономической химии*", представляющую собой полный курс агрохимии. В первой лекции Г.Г. Густавсон рассматривает вопросы происхождения минеральной составной части почв. Вторая и третья лекции посвящены роли растений в образовании почвы. В четвертой и пятой лекциях описываются условия образования нитратов в почве. Шестая и седьмая лекции посвящены гумусу. После ознакомления с происхождением и составом минеральных и органических частей почв Г.Г. Густавсон в восьмой и девятой лекциях излагает вопросы, связанные с поглотительной их способностью. Одиннадцатая и двенадцатая лекции книги посвящены химическому анализу почвы. Все вопросы, связанные с удобрениями изложены в тринадцатой лекции. Четырнадцатую и пятнадцатую лекции Г.Г. Густавсон посвящает "удобрениям с преобладающим содержанием фосфорнокислой извести". К ним он относит главным образом фосфориты и кости. Вопросы о круговороте азота в природе и минеральных азотистых удобрениях Г.Г. Густавсон излагает в шестнадцатой и семнадцатой лекциях своей книги. Восемнадцатая лекция посвящена калийным удобрениям. Последние две лекции – девятнадцатая и двадцатая – посвящены аналитическим методам исследования растительных кормов и пищевых веществ, а также составу и анализу молока и масла. Несомненный интерес представляет и приложение "*О химической роли минеральных солей в органической природе*", которое Г.Г. Густавсон прочитал в виде актовой речи в Петровской академии 21 ноября 1881 г.

Зайкевич Анастасий Егорович (1842–1931) экспериментально установил, что черноземы, несмотря на высокое содержание в них гумуса, прекрасно отзываются на применение минеральных удобрений. Он первым применил рядковое внесение суперфосфата на посевах сахарной свеклы. А.Е. Зайкевич создал научные основы техники внесения удобрений (механизированное местное, рядковое внесение удобрений). Ученый поставил полевые опыты не только с удобрениями, но и по агротехнике, изучая зависимость урожайности разных сортов растений от удобрений, обработки парового поля, глубины вспашки.

Измаильский Александр Алексеевич (1851–1914) изучал влияние различных агроприемов на продуктивность сельскохозяйственных растений. Ему принадлежат два наиболее крупных по своему научному и практическому значению сочинения: "*Как высохла наша степь*" (1893), являющаяся ответом на засуху 1891-1892 гг., и "*Влажность почвы и грунтовая вода в связи с рельефом местности и культурным состоянием поверхности и почвы*" (1894), где приводится оригинальный экспериментальный материал, подтверждающий широкие обобщения и выводы, сделанные в первой книге. А.А. Измаильский в своих трудах показал

причины происхождения засухи и предложил меры борьбы с ней. Им, наряду с глубокой обработкой почвы, высоко оценивается значение структуры почвы в деле создания наиболее благоприятного для растений водного и пищевого режимов почвы и подчеркивается значение удобрений в борьбе с засухой.

Демьянов Николай Яковлевич (1861–1938) внес существенный вклад в развитие органической и агрономической химии. Разработал общий метод получения нормальных предельных гликолей, непредельных алкоколей и изомерных им окисей; выяснил, что при действии N_2O_5 на непредельные углеводороды получают азотные эфиры гликолей, а также продукты присоединения N_2O_3 , N_2O_4 и N_2O_5 ; впервые получил и подробно изучил метилциклопропан. Открыл перегруппировку, получившую наименование Демьянова перегруппировка – изомеризация (расширение или сужение цикла на 1 атом углерода) карбоциклических и гетероциклических первичных аминов, происходящая при их дезаминировании. Составил руководство по химии растений, анализу растительных веществ и по агрономическому анализу: *"Общие приемы анализа растительных веществ. Агрономическая химия"* (1923). Подготовил плеяду талантливых ученых-агрохимиков.

Коссович Петр Самсонович (1862–1915) доказал, что бобовые растения способны усваивать молекулярный азот только через корни, несущие клубеньки; показал растворяющую роль кислых аммонийных удобрений, вносимых совместно с фосфоритом; установил на стерильных культурах, что растения могут усваивать катионы аммония без перехода их в анионы азотной кислоты. Ученый выяснил роль кислых выделений люпина, гречихи и других растений в усвоении фосфоритных удобрений. П.С. Коссович внес существенный вклад в исследование и вскрытие причин клевероутомления почвы. Он научно обосновал приемы правильного хранения навоза; определил причины снижения урожаев сельскохозяйственных культур от внесения в почву соломы и свежего неперепревшего навоза. П.С. Коссовича можно считать одним из первых почвоведов-химиков, занимавшихся исследованием проблемы питания растений и способности почвы удерживать питательные вещества в связи с применением удобрений и мелиорантов. При изучении факторов почвообразования он считал важным проведение в динамике учета поступления питательных веществ в почву и их выноса. П.С. Коссович первым изучил валовой химический состав черноземов, исследовал круговорот серы и хлора в природе. Он является автором фундаментальных трудов: *"Основы учения о почве"* (1911) и *"Краткий курс общего почвоведения"* (1912). Ученый основал *"Журнал опытной агрономии"* и продолжительное время был его редактором.

2.3.10. В.Р. Вильямс – выдающийся агропочвовед, основатель травопольной системы земледелия

Вильямс Василий Робертович (1863–1939) – создатель одной из лучших школ агропочвоведов, генератор новых идей в науке, деятельный администратор. Ученый пользовался беспрекословным авторитетом в стране, был консультантом Госплана, правительства, партийных органов. Его называли главным агрономом страны, великим ученым сталинской эпохи. В.Р. Вильямс всю свою жизнь посвятил разрешению проблемы высоких и устойчивых урожаев. Еще будучи студентом, он особенно интересовался химией и изучением почв. В 1888 г. В.Р. Вильямс опубликовал свою первую работу *"Исследования восьми почв Мамадышского уезда Казанской губернии"*, в которой наметил направление научных исследований почвы. Его интересовали основные свойства почвы и среди них самое существенное – плодородие. Он с первых же шагов поставил перед собой задачу: развивать почвоведение в тесной связи с решением практических задач повышения урожайности сельскохозяйственных растений.

С целью познания условий плодородия почвы ученый в первое время изучал ее физические свойства и убедился, что они зависят от содержания перегнойных веществ. В.Р. Вильямса интересовали факторы, определяющие свойства почв. Он стремился рассматривать почву в развитии и этим принципиально отличался от всех предшественников и современников, занимающихся почвоведением. В магистерской диссертации *"Опыт исследования в области механического анализа почв"* В.Р. Вильямс показал необходимость комплексного подхода к изучению почв, открыл сложнейшие взаимосвязи, действующие в ней, подчеркнул, что физиология растений – фундамент всех выводов и заключений земледельческой науки. Под физиологией растений В.Р. Вильямс подразумевал физиологию высших и низших растений, т. е. в современном понимании физиологию растений и микроорганизмов. В своей диссертации ученый заложил основы биологического почвоведения. Их разработке были посвящены последующие десятилетия его творческой жизни.

С 1897 г. В.Р. Вильямс работал на Люберецких полях орошения и превратил их и большую производственную лабораторию, где всесторонне исследовал вопросы биологии почв. Он первым построил в России "поля орошения" – сооружения, основанные на очистке почвой бытовых вод больших городов. Люберецкие поля орошения, спроектированные В.Р. Вильямсом, просуществовали почти век, спасая Москву от ее же сточных вод. В этом же 1897 г. при руководимой им кафедре организовал испытательную станцию по контролю качества семян, почв и удобрений. В 1903 г. им были заложены лизиметрические опыты по изучению почвенных вод и перегнойных кислот. В ходе опытов ученый исследовал свойства почвенных органических кислот, условия их образования в зависимости от той или другой растительности; определил роль этих кислот в физических и химических процессах, совершающихся в почве, в формировании ее физической структуры. В 1904 г. В.Р. Вильямс при кафедре организовал питомник однолетних трав по изучению их биологии и хозяйственной ценности. В 1911 г. им при кафедре были созданы курсы по подготовке агрономов к работе с лугами и пастбищами, реорганизованные в 1914 г. в Научно-исследовательский институт по луговодству – впоследствии Институт кормов его имени. Начиная с 1926 г., В.Р. Вильямс руководил многолетними научными экспедициями по обследованию почв в регионах Советского Союза. Ученый отдал агрономической науке, служению сельскому хозяйству страны почти полвека своей жизни.

В.Р. Вильямс сформулировал понятие структуры почвы, имея в виду ее агрегированность. Он справедливо считал, что водопрочная зернистая или ореховатая структура способствует получению высоких урожаев, препятствует смыву почвы в результате эрозии. Ученый стоял на позициях биологического земледелия, в результате которого структура почв и содержание питательных веществ будут определяться правильно подобранными растениями, травосмесями. На основании этого им был предложен практический прием повышения плодородия почвы и получения высокого урожая сельскохозяйственных культур – травопольная система земледелия.

Травопольная система В.Р. Вильямса предусматривает осуществление комплекса взаимосвязанных звеньев. Она включает учение о восстановлении почвы, системе ее обработки, удобрениях и учение об организации всей сельскохозяйственной территории с научно обоснованным размещением на ней лугов, полей, лесов и ползащитных лесных насаждений. Он не выступал против удобрений. "Искусство удобрения состоит в умении удобрить растение, а не почву", – говорил В.Р. Вильямс.

С точки зрения современных систем земледелия травопольная система В.Р. Вильямса может рассматриваться как один из вариантов органического земледелия, которое имеет определенную экологическую нишу. Очень созвучны

идеям ученого были дальнейшие разработки в мировом земледелии, когда были предложены биологические методы улучшения почв, создание условий для работы азотфиксаторов, минимализация обработок, смешанные посевы. В этом плане именно В.Р. Вильямс выступает как первый ученый, выдвинувший идею экологически чистого земледелия. Он одним из первых показал возможности и пределы влияния биологических систем земледелия. Они всегда будут ниже по продуктивности интенсивных систем земледелия, в которых широко используются минеральные удобрения и пестициды. Но при биосферном подходе эти системы выходят на первый план, и вопрос о конечном преимуществе какой-либо из них еще окончательно не решен. Безусловно, без удобрений сегодня человечество не может себя прокормить, но будущее потребует внести большие коррективы в наши системы земледелия, как и в соотношение обрабатываемых и ненарушенных площадей. Во всяком случае, принцип биологического улучшения почв и создания экологически чистого земледелия пока полностью не очерпан и не опровергнут, а наоборот, находит все больше сторонников.

Один из центральных разделов творчества В.Р. Вильямса в области агрономии – исследования плодородия почвы. Этот показатель ученый считал важнейшим ее специфическим свойством. Подчеркивая значение плодородия в характеристике почвы как природного тела и основного средства производства, он определил само понятие "почва" следующим образом: "Когда мы говорим о почве, мы разумеем рыхлый, поверхностный горизонт суши земного шара, способный производить урожай растений". В.Р. Вильямсом подробно было исследовано формирование плодородия почвы при различии конкретных форм природного почвообразования, рассмотрены условия его проявления в зависимости от содержания органического вещества, физических и физико-химических свойств почвы. При этом он подчеркивал, что развитие плодородия есть стадия прогрессивная, когда в почве формируются свойства, обеспечивающие проявление в благоприятном направлении основных элементов плодородия – обеспечение растений водой и элементами питания, и регрессивная, – когда преобладание воды или пищи антагонистически исключают друг друга.

В.Р. Вильямсу принадлежит приоритет в выделении малого биологического и глобального геологического круговоротов веществ в природе. Признание особой роли биологического фактора в формировании почв определило его исключительный интерес к проблеме органического вещества почвы. Он выразился в глубоком понимании разносторонней роли органического вещества в почвообразовании и развитии плодородия почвы и в организованных многочисленных экспериментах по данной проблеме. В.Р. Вильямса по праву можно считать одним из основателей представления об эволюции почв. Как правильно он подметил, современная почва в основном образуется не из материнской породы, а из предшествующей почвы. Ученый первым высказал мысль, что в почве находятся внеклеточные, внеорганические ферменты, т. е. экoenзимы, как он их называл. Он правильно увязал процесс разложения органического вещества в почве с действием ферментов, и приоритет В.Р. Вильямса в изучении этого феномена биохимии почв очевиден.

Нельзя не отметить и то, что В.Р. Вильямс был первым почвоведом, давшим классификацию пойменных почв и изучившим их генезис. Выделение слоистых и зернистых пойменных почв послужило начальной основой для разделения дерновых, луговых и болотистых почв в поймах и стало центральной идеей всех классификаций пойменных почв.

Оценивая В.Р. Вильямса как ученого, следует признать, что ряд его идей был направлен на совершенствование технологии применения органических удобрений и развитие научных основ не только почвоведения, но и агрохимической науки.

2.4. Агрехимическая наука в новейшей истории: создание современной агрохимии в России (XX в.)

Российская агрохимическая наука конца XIX–начала XX вв. неразрывно связана с именами Д.Н. Прянишникова, К.К. Гедройца, А.Н. Лебеяднцева, Ф.В. Чирикова, Д.А. Сабинина и плеяды советских ученых, углубивших познания о взаимодействии растения, почвы и удобрения. Их исследования явились основой для разработки агрохимических приемов в сельскохозяйственном производстве, получили приоритет и признание на мировой арене. В советское время огромный вклад в агрохимическую науку и практику внесли Н.С. Авдонин, Л.П. Воллейдт, Г.П. Гамзиков, М.М. Гукова, В.Н. Ефимов, З.И. Журбицкий, В.М. Клечковский, Д.А. Кореньков, В.Г. Минеев, И.В. Мосолов, В.Д. Панников, А.В. Петербургский, П.Е. Простаков, И.И. Синягин, П.М. Смирнов, А.В. Соколов, Б.А. Сушеница, Ф.В. Турчин, А.А. Шмук, Б.А. Ягодин, и многие другие.

2.4.1. Д.Н. Прянишников – основоположник отечественной агрохимической научной школы

Прянишников Дмитрий Николаевич (1865–1948) – основоположник отечественной агрохимической научной школы, выдающийся представитель биохимии и физиологии растений. Его основные исследования посвящены вопросам питания растений и применения минеральных удобрений в земледелии. Особенно известны труды ученого по изучению азотного питания растений и обмена азотистых веществ в растительном организме: *"Учение об удобрениях"*, *"Химия растений"*, *"Обмен азотистых веществ в питании растений"*, *"Белковые вещества и их превращения в растениях в связи с дыханием и ассимиляцией"*. В них он дал общую схему превращения азотистых веществ в растениях, отведя исключительную роль аммиака как исходному и конечному продукту в этом процессе. Разъяснил роль аспарагина и опроверг господствовавший до него взгляд на это вещество как на первичный продукт распада белков; показал, что аспарагин синтезируется из аммиака, образующегося в растениях на конечном этапе распада белков или поступающего в него извне. Эти исследования дали научное обоснование для применения солей аммония в сельском хозяйстве, для их широкого производства. Под руководством Д.Н. Прянишникова и при непосредственном его участии разработаны и такие важные вопросы в области питания растений и применения удобрений, как оценка отечественных фосфоритов в качестве непосредственного источника фосфора для растений и в качестве сырья для промышленного производства суперфосфата. Им дана физиологическая характеристика отечественных калийных солей, изучены различные формы азотных и фосфорных удобрений, вопросы известкования кислых почв, гипсования солонцов. Д.Н. Прянишников занимался и проблемой зеленого удобрения – сидерации, а также вопросами применения торфа, навоза и других органических удобрений. Ученый дал научное обоснование способам подкормки растений и внесения различных видов удобрений, предложил методы изучения питания растений: метод изолированного питания, стерильных культур, текучих растворов, а также различные агрохимические методы и приемы анализа почв и растений.

Наряду с оригинальными агрохимическими исследованиями Дмитрий Николаевич постоянно думал о подготовке научной смены. Еще в 1914 г. он писал: "Если достаточно густая сеть высших школ покроеет Россию, если система средней школы будет давать широкий доступ всем наиболее одаренным детям

народа в школу высшую, то какое количество дремлющих сил, пропадающих напрасно дарований обнаружится в нашем отечестве?" Он всячески способствовал проявлению и развитию этих дарований. Предметом постоянной заботы Д.Н. Прянишникова было агрохимическое образование. Он никогда не противопоставлял учебное образование и научную работу. Часто цитируя высказывание Н.И. Пирогова: "научное и светит и греет, а учебное без научного – только блестит", Д.Н. Прянишников строил учебный процесс таким образом, чтобы самостоятельные исследования студентов занимали в обучении видное место. Правильное соотношение научного и учебного процессов наилучшим образом характеризует девиз его научно-педагогической деятельности: "Исследуя – учим". Д.Н. Прянишников был автором неоднократно переиздававшегося учебника *"Агрохимия"* (1934; 1936; 1940; 1946; 1952; 1963; 1965), по которому учились многие поколения советских агрохимиков и агрономов.

2.4.2. Фундаментальные исследования К.К. Гедройца по химии почв – теоретическая основа применения удобрений и химических мелиорантов

Гедройц Константин Каэтанович (1872–1932) получил широкую известность и признание за свои исследования в области почвенных коллоидов, поглощательной способности почвы, питания растений, мелиорации кислых и засоленных почв. Эти исследования способствовали широкому внедрению химических и физических методов в практику исследований почв, сблизили почвоведение с агрохимией и оказали большое влияние на развитие сельскохозяйственной науки и практики. Даже сегодняшнего читателя привлекают его интересные мысли о соотношении между агрономией и почвоведением. "Между практикой сельского хозяйства и теорией, – писал он в первом номере журнала *"Химизация социалистического земледелия"* (1932), – в агрономии вообще и в частности агрохимии (и агрофизике) наблюдается резко выраженный разрыв: теория чрезвычайно сильно отстает от запросов практики... Одной из существенных причин является чрезвычайная сложность самого предмета агрохимии. Эта наука, как я ее понимаю, прежде всего, базируется на почвоведении и физиологии... Я именно так понимаю предмет агрохимии: почвоведение – это одно, а агрохимия, имея своим основным базисом почвоведение и плюс физиологию, – нечто совершенно новое, чего ни в том, ни в другом нет – это другое". Глубокие фундаментальные исследования, выполненные К.К. Гедройцем, результаты которых изложены в монографиях *"Учение о поглощательной способности почв"* (1922) и *"Почвенный поглощающий комплекс и поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации"* (1927), по существу являются фундаментальной основой агрохимии по разделу химии почв. К.К. Гедройц впервые разработал (1908) учение о почвенных коллоидах и их роли в образовании и плодородии почв. Показал, что в развитии почвы, ее физико-химических свойств, главную роль играют органические и минеральные дисперсные частицы, на поверхности которых находятся поглощенные катионы, способные заменяться катионами почвенного раствора. С именем К.К. Гедройца неразрывно связаны такие важные мероприятия по повышению плодородия почв, как известкование и фосфоритование дерново-подзолистых почв, промывание солончаков, гипсование солонцов и солонцеватых почв. К.К. Гедройц глубоко изучил процессы содообразования в почве, указал, что необходимым условием образования солонцов является преобладание натрия среди почвенных поглощенных катионов. Ученый впервые предложил разли-

чать солончаки по составу катионов и дал научное объяснение процесса осолодения почв. Он показал, что стадии солонца предшествует солончак, а солоди – стадия солонцеобразования. Учение К.К. Гедройца об обменных основаниях, о ненасыщенности почв основаниями, о емкости и энергии поглощения, о скорости обменных реакций вошло в золотой фонд науки и сохранило свое значение до наших дней. Нельзя не отметить совершенствование и широкое использование им вегетационного метода исследований. Он создал классическое руководство по химическому анализу почв – *"Химический анализ почвы"* (1923), которое широко известно в научных кругах и является настольной книгой почвоведов и агрохимиков.

2.4.3. Развитие идей Д.Н. Прянишникова и К.К. Гедройца в отечественной агрохимии

Идеи Д.Н. Прянишникова и К.К. Гедройца оказали многостороннее влияние на развитие агрохимии в России. В первые же годы советская власть осознала необходимость проведения в стране ширококомасштабных агрохимических исследований. Уже в 1918 г. Совет народных комиссаров (Совнарком) выделил целевые ассигнования на разработку фосфоритов, т. к. в большинстве почв недостаток фосфора сдерживал рост урожайности сельскохозяйственных культур. По решению Совнаркома был организован Главный комитет удобрительных туков. Уже тогда обсуждался вопрос о производстве азотных туков, включая промышленный синтез азотных удобрений за счет связывания азота воздуха. Принимались также меры к изысканию отечественных источников калийных солей, т. к. раньше они ввозились из Германии.

В 1919 г. при Высшем Совете Народного хозяйства по инициативе Я.В. Самойлова, Э.В. Брицке и Д.Н. Прянишникова был создан Научный институт по удобрениям, впоследствии НИУИФ. В 1921 г. в системе НИУИФ была образована Долгопрудная агрохимическая опытная станция (ДАОС). В связи с тем, что в первые годы после организации ДАОС в стране отсутствовала туковая промышленность, в полевых опытах с 1923 г. изучали эффективность фосфоритной муки, извести и навоза.

В 1926 г. под руководством А.Е. Ферсмана на Кольском полуострове открыты огромные месторождения высококачественного апатита. В том же году П.Н. Преображенский обнаружил крупные Соликамские залежи калийных солей. Эти месторождения впоследствии стали основной сырьевой базой для промышленного производства фосфорных и калийных удобрений.

В период 1926–1931 гг. под руководством Д.Н. Прянишникова, А.П. Левицкого и А.Н. Лебеяднцева в 317 учреждениях страны было заложено по единой методике около 4 тыс. полевых опытов с удобрениями. Результаты опытов Геосети НИУИФ и опытов Д.Н. Прянишникова на ДАОС послужили обоснованием для развития туковой промышленности в Советском Союзе.

В 1929 г. Комитетом по химизации народного хозяйства при СНК СССР и научным Институтом по удобрениям для освещения передового опыта по использованию минеральных и органических удобрений, известкованию кислых и гипсованию солонцовых почв по инициативе Д.Н. Прянишникова был создан журнал *"Удобрение и урожай"*, который в 1932 г. получил название *"Химизация социалистического земледелия"*, затем в 1963 г. – *"Химия в сельском хозяйстве"*, в 1988 г. – *"Химизация сельского хозяйства"*, а с 1997 г. – *"Агрохимический вестник"*. С 1964 г. в издательстве Академии наук СССР выходит журнал *"Агрохимия"*.

Большим событием для развития агрохимии и химизации земледелия страны явилась организация в 1931 г. Всесоюзного научно-исследовательского института удобрений, агротехники и агропочвоведения (позже Всесоюзный научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения, с 1991 г. – Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения), который в 2003 г. был переименован во Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (ВНИИА). В создании института, определении его задач, разработке программ и методов исследований активное участие принимали Д.Н. Прянишников, К.К. Гедройц, А.Н. Лебедев, Е.В. Бобко, П.Г. Найдин, А.Т. Кирсанов и О.К. Кедров-Зихман.

Одновременно с активным развертыванием агрохимических исследований и формированием агрохимии как фундаментальной биологической науки в СССР развивалась и туковая промышленность. Например, если в 1913 г. производство минеральных удобрений в стране (в границах бывшего СССР) составляло 17 тыс. т, то в 1940 г. – 756 тыс. т, а в 1950 г., несмотря на тяжелый урон, нанесенный народному хозяйству Великой Отечественной войной, – 1226 тыс. т минеральных удобрений в пересчете на 100 % содержание питательных веществ (*"Народное хозяйство СССР в 1979 г. Статистический сборник"*. М.: Статистика, 1980).

Обобщая работы, выполненные за советский период, необходимо отметить особый вклад в *развитие теории питания растений* Д.А. Сабина, А.В. Владимирова, З.И. Журбицкого, Н.З. Станкова, Л.П. Воллейдт, В.В. Церлинг, К.П. Магницкого, В.М. Ключковского, Н.К. Болдырева, И.В. Мосолова, И.И. Колосова и А.В. Петербургского.

В решении *проблемы азота в земледелии и эффективности азотных удобрений* внесли весомый вклад Ф.В. Турчин, П.А. Баранов, Д.А. Кореньков, М.М. Гукова, П.М. Смирнов, В.Н. Кудеяров и Э.А. Муравин.

Роль фосфора и калия в питании растений, оптимизация параметров этих элементов в зависимости от свойств почвы, климатических условий, биологических потребностей культур показана в трудах А.Н. Лебедева, А.Т. Кирсанова, Ф.В. Чирикова, С.М. Вольфовича, Д.Л. Аскинази, А.В. Соколова, Н.С. Авдонина, Б.А. Неунылова, И.Н. Чумаченко и Ф.В. Янишевского.

В обосновании *физиолого-биохимической роли микроэлементов, в разработку индексов обеспеченности ими растений*, норм и приемов эффективного использования микроудобрений в зависимости от свойств и плодородия почв, климатических зон и геохимических провинций страны, а также биологических особенностей культур много снятия уделено в своих исследованиях Я.В. Пейве, М.В. Каталымов, Е.В. Бобко, И.Г. Важенин, Н.Г. Зырин, М.Я. Школьник и Б.А. Ягодин.

Изучению *роли агротехнических приемов в повышении плодородия почв и эффективности удобрений* посвящены работы О.К. Кедрова-Зихмана, Н.И. Алямовского, М.М. Мазаевой, П.Г. Найдина и И.Н. Антипова-Каратаева.

Новое приоритетное на современном этапе направление исследований – *экологические проблемы агрохимии* успешно решаются благодаря усилиям В.Г. Минеева.

Самойлов Яков Владимирович (1870–1925). Являясь по профессии минералогом и геохимиком, обладая широкой эрудицией в естественных и технических науках, Яков Владимирович внес крупный вклад в химизацию сельского хозяйства нашей страны. Он организовал и руководил многолетними работами по систематическому геологическому изучению отечествен-

ных фосфоритов, провел первые поисковые исследования калийных солей в районе Соликамска, вместе с Д.Н. Прянишниковым и Э.В. Брицке создал Научный институт по удобрениям, в котором шесть лет был директором. Как профессор Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Института народного хозяйства им. Г.В. Плеханова, Яков Владимирович подготовил большое число специалистов, работающих в сельском хозяйстве, промышленности и науке.

Одновременно с научной и педагогической деятельностью Яков Владимирович оказывал большую помощь промышленности в создании отечественной сырьевой базы для производства удобрений.

Вместе со своими друзьями и соратниками Яков Владимирович организовал в 1917 г. Общественный комитет по удобрениям, председателем которого он был избран. Перед Комитетом его организаторы поставили цель — создание крупной отечественной туковой промышленности и широкого применения удобрений на основе глубокого и разностороннего изучения геологических, химических, биологических, технических и экономических аспектов этой проблемы. Эта идея разностороннего комплексного исследования больших проблем коллективом различных специалистов с целью более быстрого и качественного ее разрешения потребовала создания сильной экспериментальной и экспедиционной базы, которая и была создана Высшим Советом народного хозяйства в 1919 г. в виде Научного института по удобрениям, в который вошли основные члены Комитета. Организация института была осуществлена в значительной степени по инициативе и плану Я.В. Самойлова, который благодаря отзывчивости и энтузиазму был душой институтского коллектива.

Научными проблемами, которым Я.В. Самойлов уделял наибольшее внимание на протяжении всей жизни, являлись: 1) геологическое и минералогическое изучение минерального сырья для туковой промышленности и 2) биогеохимическое исследование условий образования ряда минералов и осадочных горных пород в связи с участием в этих процессах животных организмов.

Лебедянец Александр Николаевич (1878–1941) был организатором систематических полевых исследований, проведенных в 1924–1930 гг. в различных зонах нашей страны, получивших название Географической сети полевых опытов. С его именем связана разработка ряда проблем, оказавшая значительное влияние на развитие отечественной агрохимической науки, имевшей большое значение для народного хозяйства. Благодаря четко организованной им Географической сети полевых опытов была установлена географическая закономерность в действии различных видов и форм минеральных удобрений, определена их потребность в региональном аспекте в стране в целом, что послужило обоснованием развития отечественной туковой промышленности. А.Н. Лебедянец впервые экспериментально установил возможность эффективного применения фосфоритной муки не только на деградированных почвах, но и на черноземах Европейской части нашей страны. Это имело большое народнохозяйственное значение, так как позволило заменить дорогой и дефицитный суперфосфат более дешевым и распространенным фосфоритом. Новую зону применения фосфоритной муки Д.Н. Прянишников назвал именем ее открывателя — "лебедянецовой зоной". Дальнейшие исследования показали, что высокая эффективность фосфоритной муки в северной части черноземной полосы обуславливается в основном растворяющим действием азотной кислоты, образующейся в процессе нитрификации в этих почвах.

Много внимания А.Н. Лебедевцев уделял вопросам методики постановки и проведения агрохимических исследований. Он разработал методику исследования нитрификационного процесса в почве, нефелометрический метод определения фосфора в почвах, растениях и удобрениях, способы сжигания растительных образцов для определения фосфора, методику определения влажности в биомассе растений, методику учета урожая на опытных делянках по пробному снопу, новый способ почвенного картографирования для составления детальных планов участков с целью проведения полевых опытов. А.Н. Лебедевцев принимал участие в работе Госплана СССР при составлении второго пятилетнего плана в области развития сельского хозяйства. Заведая кафедрой агрохимии МГУ с 1924 по 1931 гг., А.Н. Лебедевцев внес существенный вклад в дело совершенствования преподавания агрохимии и развития агрохимических исследований. Прочитанные в те годы им курсы "Учение об удобрениях", "Методы сельскохозяйственных исследований", "Учение об обработке почвы" отличались полнотой и глубиной охвата темы, стройностью и ясностью изложения. Много внимания ученый уделял ознакомлению студенческой молодежи с классическими трудами по агрохимии. Под его редакцией вышло русское издание книги Ю. Либиха "Химия в приложении к земледелию и физиологии", а также перевод книги Ж.Б. Буссенго "Избранные произведения по физиологии растений и агрохимии".

Кирсанов Александр Трофимович (1880–1941) – выдающийся ученый-агрохимик. В 1913 г. организовал первую в России болотную станцию в Минске и руководил ее до 1925 г. Научная деятельность А.Т. Кирсанова в этот период была посвящена изучению генезиса болотных почв, разработке рациональных приемов их освоения. Эти вопросы нашли освещение в опубликованных им работах: "К вопросам опытного изучения болот Полесья в целях культуры", "К вопросу о сложности водного режима на осушаемом торфянике и о влиянии этого режима на развитие растительности", "Культура болот. Введение и систематическое изучение вопросов мелиорации и культуры болот", "Изменение торфа как питательной среды под влиянием культуры". Много сил и энергии А.Т. Кирсанов отдал изучению и выработке химических методов определения естественного плодородия почв. Им был разработан и предложен принципиально новый метод определения подвижных фосфатов в почве как основного источника фосфорного питания растений. Уже в 1931 г. появились первые картограммы содержания подвижных фосфатов на подзолистых и черноземных почвах. Широкой известностью пользуется также и разработанный им метод определения потребности почв в калийных удобрениях, метод, получивший название "Определение калия по Кирсанову". Изучая взаимодействие различных видов удобрений, А.Т. Кирсанов еще в 1934 г. пришел к выводу, что "при сильном недостатке калия азотные удобрения не только не повышают урожай, но даже губят его". Значение такого вывода, как справедливо отмечает Н.А. Сапожников (1981), особенно для практики химизации, не может быть переоценено. Весьма значительный вклад ученый внес в теорию и практику известкования кислых почв, применения удобрений на различных почвах. Много внимания он уделял вопросам повышения плодородия эродированных почв.

Чириков Федор Васильевич (1883–1964) является пионером в области изучения роли микроэлементов в жизни растений. Еще в 1913 г. им установлена высокая отзывчивость растений на марганец и молибден. Применяв метод изолированного питания, Ф.В. Чириков подошел к решению вопроса о

доступности растениям фосфора из фосфорита. Он показал, что растворимость и доступность растениям фосфора из фосфоритной муки возрастают при удалении из раствора кальций-иона. В результате многочисленных опытов он провел сопоставление данных по содержанию в золе растений CaO и P_2O_5 с прибавками урожая от внесения фосфоритной муки и разделил сельскохозяйственные растения на две группы – не усваивающие фосфор из фосфорита (злаковые растения, имеющие отношение $\text{CaO} : \text{P}_2\text{O}_5$ меньше 1,3) и усваивающие его (бобовые растения, гречиха, сахарная свекла, у которых отношение $\text{CaO} : \text{P}_2\text{O}_5$ больше 1,3). Им была выявлена зависимость усвоения корнями элементов питания из труднорастворимых соединений от сдвигов равновесия твердой и жидкой фаз субстрата в процессе питания растений. На основании этих положений Ф.В. Чириков разработал стройную теорию питания растений труднорастворимыми фосфатами. Он выявил также растворяющую роль углекислоты, концентрация которой в ризосфере может достигать почти полного насыщения. Ф.В. Чириков впервые изучил растворимость трикальцийфосфата и фосфорита в растворах солей, насыщенных углекислотой. Он тщательно изучил растворимость фосфатов железа и установил наличие у кривой растворимости фосфата железа минимальной точки, от которой кривая поднимается как в сторону кислого, так и в сторону щелочного интервала. Большое практическое значение имеют исследования ученого по влиянию лесных полос на эффективность удобрений. Ф.В. Чириков провел агрохимическую оценку различных форм почвенных фосфатов и предложил методы их определения. По растворимости и доступности растениям он разделил их на 5 групп: I – углекислорастворимые (0,05 н); II – уксуснокислорастворимые (0,5 н); III – солянокислорастворимые (0,5 н); IV – щелочнорастворимые (3 н NH_4OH); V – не извлекаемые указанными растворителями. Предложенные методики позволили выявить особенности фосфатного режима основных типов почв, установить влияние удобрений, известки и растений на изменение форм фосфатов и их динамику в почве. Ф.В. Чириков – автор фундаментальной монографии *"Агрохимия калия и фосфора"* (1956), в которой изложены результаты его исследований по химии почвы, физиологии питания растений и научные основы применения удобрений.

Кедров-Зихман Оскар Карлович (1885–1964) одним из первых в нашей стране развернул работу по всестороннему изучению вопросов известкования кислых почв и его внедрению в практику. Им разработаны различные приемы повышения эффективности известковых удобрений и сочетания известкования с применением органических удобрений и микроэлементов. В итоге многолетней исследовательской работы О.К. Кедров-Зихман сформировал основное теоретическое положение современного известкования, которое гласит, что для улучшения плохих агрохимических свойств кислых почв, прежде всего, необходимо устранить их избыточную кислотность путем известкования, понизив ее до слабокислой реакции, соответствующей рН 5,6-5,8 в солевой вытяжке. Им изучены новые формы известковых удобрений – известковый туф, озерная известь, торфотуфы, а также уточнен характер действия применявшихся ранее форм гашеной известки, мела, известняковой муки. О.К. Кедров-Зихман провел исследования по определению подвижных фосфатов в почве, влиянию биологических процессов на превращение почвенных фосфатов. Он впервые показал размер биологического поглощения фосфатов и условия их мобилизации. О.К. Кедров-Зихман является одним из пионеров изучения проблемы применения микроудобрений в земледелии. Роль микроэлементов в питании расте-

ний он тесно связывал с известкованием. В частности, применение бора явилось радикальным средством борьбы с последствиями избыточного внесения извести. Им также установлено понижение подвижности марганца и кобальта в известкованных почвах и, наоборот, резкое повышение подвижности молибдена. О.К. Кедров-Зихман широко применял метод радиоактивных изотопов при изучении действия на растения ряда элементов: кобальта, кальция, цинка. Это позволило ему выявить различные аспекты их поступления в растения и влияния на различные физиологические процессы. По инициативе и под руководством О.К. Кедрова-Зихмана было организовано первое в СССР гамма-поле для исследования влияния радиоизотопов на культурные растения. На нем проведены оригинальные исследования по поступлению и передвижению в растении радиоактивного стронция, а также по изучению значения известкования в борьбе с загрязнением почв этим элементом.

Тюлин Александр Федорович (1885–1955). В первый период своей научной деятельности (1920–1930 гг.) он изучал вопросы почвенной структуры, известкования и применения удобрений. Работая в ВИУА (1932–1941 гг.), много внимания уделял изучению важнейших агрономических свойств почв в созданной им лаборатории почвенных коллоидов. В это же время ученый разработал новый метод разделения первичных частиц почвы на группы. (Итоги этой работы изложены в книге *"Коллоидно-химическое изучение почв в агрономических целях"*. Труды ВИУА, вып. 27(1946).

Во время Великой Отечественной войны А.Ф. Тюлин принимал деятельное участие в работе по продвижению новых культур на восток и по изучению агрономических свойств сибирских черноземов, а также черноземов Европейской части нашей страны. А.Ф. Тюлин стремился дать теоретические основы для дифференцированного применения минеральных удобрений на черноземах, учитывая всю невыгодность существующего у нас шаблонного применения одних и тех же доз удобрений в крайне неоднородных почвенных условиях нашей обширной страны. Последние пять лет своей жизни ученый отдал изучению влияния минеральных удобрений на плодоношение древесных растений. В это время он сумел поставить ряд оригинальных экспериментальных работ в дубравах Теллермановского лесного массива и получил новые данные, имеющие большое научное и практическое значение. В результате изучения динамики содержания азота, фосфора и калия он установил закономерные сезонные колебания их в почве и в растениях. В начале вегетационного периода наблюдается временная убыль азота и фосфора в корнеобитаемом слое почвы и постепенный возврат их в конце года из растений в почву, к осени количество азота и фосфора в почве становится близким или равным тому уровню в почве, каким оно было весной. В те же сроки, когда в почве азот и фосфор временно убывают, в корнях, листьях и побегах дуба приток этих же элементов увеличивается. Массовые, повторные комплексные анализы почвы и растения, проведенные в течение ряда лет в разных географических условиях нашей страны, дали аналогичные результаты. Это позволило А.Ф. Тюлину обобщить и сформулировать общебиологические законы поступления питательных веществ в древесное растение. Работы ученого по вопросам почвенной структуры, закономерностям ее образования в зависимости от содержания пылеватых и илистых частиц, о рациональных методах исследования почвенной структуры получили широкую известность во всем мире.

Дальнейшее развитие работ по структуре почвы логически привело его к мысли о различиях в строении поверхности почвенных частиц и, соответ-

ственно, о различном участии их в образовании почвенных агрегатов. А.Ф. Тулину удалось убедительно показать наличие на поверхности почвенных коллоидов сорбированных пленок из гидратов полуторных оксидов и гумуса и дать понятие о связанных и свободных коллоидах почвы. Исходя из этих принципов, он предложил метод дробной пептизации почвенных коллоидов. Этот метод стал применяться не только в СССР, но и за рубежом. Материалы, полученные при помощи этого метода, прочно вошли в науку о почве, агрохимию и земледелие.

Характерной особенностью всех работ ученого является постоянная их связь с практикой. Он предложил проект коренной мелиорации субтропических подзолистых почв, на которых снижался урожай цитрусовых культур. Опыты, заложенные по этому проекту, в полной мере оправдали взгляды А.Ф. Тюлина, и урожай цитрусовых удалось значительно повысить.

Шмук Александр Александрович (1886–1945) – выдающийся ученый-агрохимик, талантливый педагог и крупный организатор науки, первый заведующий кафедрой агрономической химии Кубанского СХИ (1921–1935 гг.), академик ВАСХНИЛ, доктор биологических наук, профессор, лауреат Сталинской премии.

А.А. Шмук уделял большое внимание вопросам агрономической химии. Его исследования в этой области, бесспорно, позволяют ему занять одно из первых мест среди агрохимиков нашей страны. Весьма большой интерес представляет его подход к изучению органического вещества почв. Он был одним из первых исследователей, подошедших к почвенному гумусу как к веществу, которое должно обладать способностью к таким основным превращениям органического соединения, как нитрование, гидролитическое расщепление и этерификация (образование эфиров с хлористым бензоилом). Его исследования, показавшие, что при гидролизе органического вещества почв получаются продукты, аналогичные продуктам гидролитического распада белка, являются классическими.

В 1921 г. А.А. Шмук получает приглашение от ряда агрономических институтов занять кафедру агрономической химии. Он останавливается на Кубанском с.-х. институте, где и занимает с осени 1922 г. кафедру агрономической химии. В то время Кубанский СХИ развернул лишь свою педагогическую работу. Кафедра была обеспечена только аудиториями и элементарными учебными пособиями, серьезную научно-исследовательскую работу наладить было невозможно, поэтому, получив приглашение заведовать Химическим отделом лаборатории опытного табаководства, он переносит центр своей исследовательской работы в эту хорошо оборудованную лабораторию, и горячо берется за реорганизацию этого научно-исследовательского учреждения, которое переживало трудное переходное время. С 1922 г. А.А. Шмук становится его директором, сохраняя эту обязанность за собой до конца 1928 г., и ведет большую организационную и административную работу, успешно совмещая ее с личной научно-исследовательской деятельностью и руководством химическим отделом.

За период с 1921 г. и, примерно, по 1936–1937 гг. А.А. Шмук совершенно по-новому поставил вопрос о характеристике табака как курительного сырья, как культурного и технического растения, а также и вопрос о его использовании. С полным основанием необходимо констатировать, что он является основоположником современной химии табака. Эта роль его признается во всех странах, где табак является одной из главнейших технических культур.

В связи со специфической особенностью табака, при многообразии веществ, входящих в его состав, А.А. Шмук ставит в качестве основной и ведущей проблемы изучение табака, как химического комплекса, и влияние отдельных компонентов на качество табака. Вырабатывается оригинальная методика исследования, так как обычный набор агрохимических исследований оказался недостаточным для решения новых задач. Систематическое исследование табачного сырья и изделий новыми методами на протяжении ряда лет дало возможность ввести объективные показатели при оценке качества табака и изделий, установить контроль производства, подвести научную базу при характеристике нашего сырья не только отдельных районов, но и сортов, а также при решении многих агротехнических вопросов составления "табачных мешек" из анализированного табачного сырья.

В результате этих работ установлено, что высокое содержание углеводов, эфирных масел, смол повышает качество табака, а с ухудшением качества резко возрастает содержание белка, никотина и золы. Особенно характерным показателем для качественной характеристики табака оказалось углеводно-белковое отношение (число Шмука).

Из отдельных компонентов химического состава табака А.А. Шмук детально изучал эфирные масла, которые стоят в прямой связи с качеством табака, определяя его ароматичность; установлен их химический состав, описаны физико-химические свойства и определены физические константы. Наряду с ними исследованы смолы, которые тоже определяют ароматичность табаков; дана оригинальная методика экстрагирования их бензолом.

А.А. Шмуком установлено, что наиболее бурые табаки содержат наивысший процент полифенолов по отношению к общему количеству веществ, редуцирующих жидкость Фелинга. Сделана также первая попытка охарактеризовать углеводный комплекс табаков; доказано присутствие кетозы. Обнаружен также в табаке глюкозид, имеющий ароматическое значение. Ему впервые удается выделить инозит из табака, фитин из семян табака; им изучена большая группа полифенольных веществ.

Большое значение имело изучение органических кислот табака, В результате этого изучения разработан точный метод количественного учета некоторых кислот, удалось выделить и идентифицировать лимонную кислоту. Это открытие позволило разработать технологический метод выделения лимонной кислоты из отбросов махорки при никотиновом производстве, уже успешно осуществленном в заводских условиях. По методу А.А. Шмука в заводских условиях получают не только лимонную, но и яблочную кислоты. Табачное растение оказалось чрезвычайно богатым по комплексу входящих в него веществ, что дает новое направление в использовании этого растения как технологической культуры для получения из него ряда ценных веществ (никотин, лимонная и яблочная кислоты, пектиновые вещества, масло и белок из семян, целлюлоза из стебля). А.А. Шмук впервые применил в лаборатории метод электролиза к обработке растительного сырья, что дало возможность выделять алкалоиды из табачного растения и улучшать качество низкосортных табаков. Промышленность высоко оценивает работы руководимого им Института табаководения. Институт получает большие материальные средства, что позволяет создавать все более и более благоприятные условия для дальнейшего развития научного исследования.

Параллельно с руководством Институте табаководения А.А. Шмук энергично развивает работы по агрохимии в Кубанском СХИ. В этот период уче-

ным опубликовано несколько работ, посвященных исследованиям режима нитратов в почвах и растениях. Показана способность нитратов к небактериальному поглощению в почвах Кубани; многочисленными наблюдениями доказано быстрое исчезновение нитратов под растениями, которое не может быть объяснено простым поглощением их корнями растения в процессе питания. Исчезновение и отсутствие нитратов в почве являются следствием специального влияния растительных ферментов, находящихся в корнях растений и способствующих редукции нитратов непосредственно или через денитрифицирующие организмы.

А.А. Шмук разработал ряд методов, нашедших применение как в агрохимических, так и в биохимических исследованиях. Им разработаны микрометоды определения поглощенных оснований и общей емкости поглощения в почвах, усовершенствован колориметрический метод определения фосфорной кислоты, дан оригинальный метод выделения почвенного раствора.

В 1936 г. А.А. Шмук избирается действительным членом Всесоюзной Академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина. В это же время он получает предложение занять место заведующего биохимической лабораторией Института генетики Академии Наук СССР.

Московский период охватывает следующие работы А.А. Шмука:

- 1) по исследованию закономерностей образования химических веществ в растениях и изучению наследственных изменений химического состава;
- 2) по изучению химической природы веществ, влияющих на процессы клеточного деления у растений, и аналогии этих явлений с действием карциногенных веществ;
- 3) исследования изменений состава растений, происходящих при их трансплантации;
- 4) исследования в области витаминов.

Большое значение в этот период имеют работы А.А. Шмука по изучению биохимических процессов, происходящих при межвидовой гибридизации и трансплантации (прививках) растений. Как указывает сам автор, – "весьма часто новый научный метод экспериментальных исследований, открывая новые явления в природе, дает новое и оригинальное понимание этих явлений, опровергает старое и консервативное в науке". В работах ученого таким новым методом является изучение состава алкалоидов в растениях. Изучая превращения алкалоидов у привитых растений, он доказал, что корневая система является не только органом снабжения растений питательными минеральными веществами, но и принимает участие в процессах синтеза органического вещества. В частности, с деятельностью корневой системы тесно связан синтез никотина в растениях.

Антипов-Каратаев Иван Николаевич (1888–1965) – один из создателей физико-химического направления в почвоведении. С его именем связано развитие учения о генезисе и мелиорации почв, проблем агрономии, географических закономерностей распространения почв. Особенно большую роль имели и не потеряли своей значимости и по настоящее время работы ученого в области мелиорации солонцов, вторичного засоления почв при орошении и борьбы с ним, исследования механизмов структурообразования и биологических методов улучшения солонцов. Совместно с сотрудниками И.Н. Антиповым-Каратаевым разработаны методы электродиализа и электролиза почв; им предложены оригинальные приемы изучения сорбции паров и газов почвами; даны принципиальные обоснования методов определения

связанной воды; тщательно изучены явления пептизации и коагуляции почвенных коллоидов; вскрыты факторы, определяющие перезарядку почв; исследована роль удельной поверхности почв и разработаны методы определения ее. Все физико-химические и агрохимические исследования ученого были направлены на улучшение свойств солонцов, выявление их особенностей, специфических качеств и превращение в плодородные почвы, особенно при орошении. И.Н. Антипов-Каратаев исследовал поглотительную способность почв, природу почвенных агрегатов и почвенных растворов в связи с питанием растений и применением удобрений.

Сабинин Дмитрий Анатольевич (1889–1951) – автор фундаментальных монографий: *"Минеральное питание растений"*, *"Физиология развития растений"*, *"Физиологические основы питания растений"*. Он внес значительный вклад в развитие теоретических положений агрохимии. В своих трудах он показал роль корневой системы в поглощении воды и элементов минерального питания растениями. Проводя анализ и сопоставление всех имеющихся к началу 1940 г. литературных данных и результатов собственных исследований, Д.А. Сабинин писал: "Факты позволяют, как нам кажется, считать достаточно обоснованным представление о корневой системе как органе, где происходит образование фитогормонов роста, определяющих поддержание меристем растения в деятельном состоянии. Этими специфическими соединениями, по нашему мнению, являются производные нуклеиновых кислот, возникающих в корневых системах при происходящих там превращениях соединений азота, а вероятно, и фосфорной кислоты". Таким образом, Д.А. Сабинин не только сделал правильный вывод о синтезе в корнях растений фитогормонов, участвующих в регуляции роста побегов и листьев, но и предвосхитил характер химической структуры этих соединений. В своих работах он показал также активное участие корней в процессе метаболизма и влияние круговорота элементов минерального питания на рост и формирование растений. Сложные вопросы минерального питания им рассматривались в связи с условиями существования растений. Д.А. Сабинин дал ряд рекомендаций по применению удобрений и регулированию количества и качества урожая.

Бобко Евгений Васильевич (1890–1959) внес крупный вклад в агрохимию и физиологию питания растений, был искусным химиком. Им разработан метод стерильных культур высших растений и проведены исследования с использованием метода так называемых "кривых растворимости" о доступности растениям почвенных фосфатов, а также по вопросу о плодородии сибирских почв и, в частности, солонцов. Научный интерес представляют работы ученого по химической переработке фосфоритов, исследования по вопросу об образовании соды в почве, о методике определения механизма поглощения почвой оснований и о факторах, обуславливающих реакцию почв. Е.В. Бобко провел ряд оригинальных исследований по вопросу физиологической роли и удобрительном значении микроэлементов, в особенности бора: его поглощении почвами, роли в процессах прорастания пыльцы, содержания в различных органах растения, растворимости его соединений, находящихся в растении, об его удобрительном значении. Серия опытов по изучению эффективности бора позволила установить ареалы применения борных удобрений, дозы и способы их внесения. Е.В. Бобко была впервые выяснена роль борных удобрений в борьбе с гнилью сердечка у свеклы. Он провел также исследования по значению молибдена для роста и развития растений, селеностой и селеновой кислот, а также меди.

Кононова Мария Михайловна (1892–1979). Вся ее научная деятельность связана с Почвенным институтом им. В.В. Докучаева. В лаборатории профессора И.В. Тюрина она развернула исследования, связанные с проблемой органического вещества почвы, охватывающие методические вопросы, изучение биохимии гумусообразования, процессов трансформации органических веществ под влиянием сельскохозяйственного использования почв.

В 1945 г. М.М. Кононова встала во главе лаборатории биохимии почв и бессменно руководила ею до 1976 г., после этого она перешла на должность научного консультанта. Круг вопросов, разрабатывавшихся под ее руководством, чрезвычайно широк и включает много направлений, основные из которых следующие: 1) органическое вещество почвы, состав и природа входящих в него компонентов; 2) процессы превращения исходного растительного материала, биохимия формирования гумусовых веществ, роль в этих процессах микроорганизмов и животных; 3) географические закономерности процесса гумусообразования в основных типах почв; 4) роль органического вещества в почвообразовании, выветривании минералов, питании растений, создании почвенного плодородия; 5) изменение органического вещества под влиянием различных приемов окультуривания почв.

Систематические наблюдения за ходом гумификации растительных объектов (корни и листья бобовых: клевера и люцерны, корни многолетних злаков, древесный опад) как в лабораторных, так и в природных условиях различных почвенно-климатических зон, позволили установить смену микрофлоры и распад ряда компонентов тканей с образованием новых гумусовых веществ явно нелигнинного происхождения, источником которых во всех случаях являлся углеводный комплекс тканей и лизирующаяся плазма бактерий. Обладая рядом общих признаков с почвенными гуминовыми кислотами, а по элементному составу приближаясь к гуминовым кислотам подзолистых почв, эти вещества, тем не менее, характеризовались как более "молодые" и, по мнению М.М. Кононовой, могли быть отнесены к категории "прогумусовых" веществ, что подразумевало неизбежность дальнейших изменений их природы (возрастание отношения С:Н, уменьшение содержания кислорода, увеличение емкости обмена). В отличие от сторонников лигнинной теории происхождения гумусовых веществ, целиком отрицавших роль целлюлозы в образовании последних, ею был установлен факт формирования гумусовых веществ уже на ранних стадиях гумификации, до разложения лигнифицированных тканей.

На базе проведенных исследований М.М. Кононовой была сформулирована концепция, основанная на представлении о гумусовых веществах как о продуктах конденсации структурных единиц фенолов и азотсодержащих органических соединений, образующихся при участии окислительных ферментов микробного происхождения. Первоисточниками структурных единиц могут служить при этом все компоненты растительных тканей, а также продукты ресинтеза и метаболизма микроорганизмов. Ответственным звеном процесса формирования гумусовых веществ является конденсация структурных единиц, которая происходит путем окисления фенолов ферментами типа фенолоксидаз через семихиноны до хинонов и взаимодействие последних с аминокислотами и пептидами. Заключительное звено в формировании гумусовых веществ – поликонденсация – является химическим процессом.

В центре внимания М.М. Кононовой был и еще один дискуссионный вопрос – о влиянии на растение ряда индивидуальных органических соединений и физиологической активности собственно гумусовых веществ. Она неод-

нократно подчеркивала, что физиологически активные вещества не заменяют элементов питания, но обогащение почвы подобного рода веществами путем применения органических удобрений, компостов, посевов многолетних, однолетних трав и других приемов является одним из факторов, повышающих жизненный тонус растений и способствующих более интенсивному использованию ими питательных элементов.

Огромное внимание в исследованиях М.М. Кононовой уделено разработке новых и усовершенствованию ранее существовавших методов изучения органического вещества почвы, которые широко используются в практике сельскохозяйственных научно-исследовательских, учебных учреждений и опытных станций. Трудно переоценить теоретическое и практическое значение этих глубоких разносторонних исследований. Она автор уникальных монографий: *"Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения"* (1951) и *"Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения"*, (1963). Обе монографии получили высокую оценку не только в нашей стране, но и за ее пределами. Они стали настольными книгами почвоведов и агрохимиков.

Тюрин Иван Владимирович (1892–1962). Еще в студенческие годы проявил интерес к проблемам генезиса и плодородия почв, особенно к исследованиям органических веществ в почве. К этому времени относятся две выполненные им работы: *"Синтез стереоизомерных 1-4-дибромгексаметиленов"* и *"Исследование почв Брянского опытного лесничества"*.

Эти первые работы определили дальнейшее направление основных исследований ученого: его глубокий интерес как к вопросам генезиса почв, так и к проблемам биологии и биохимии почв, и особенно к разделу химии и биохимии органического вещества почвы. -

Расцвет таланта ученого связан с многогранным исследованием гумуса, обобщенным в монографии *"Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии"* (1937). Блестящая разработка этой проблемы – одного из основных разделов почвоведения и агрохимии – принесла мировую славу И.В. Тюрину и отечественной почвенной науке.

И.В. Тюрин рассматривает гумус как группу высокомолекулярных веществ специфической природы, образование которых тесно связано с биохимическими процессами. Основываясь на этих представлениях, ученый разрабатывает методы изучения группового и фракционного состава гумуса, применение которых позволяет выявить характерные различия природы гумуса в почвах, отличных по своим генетическим особенностям и степени окультуренности. Им проведены детальные химические анализы почв и органического вещества. Такой подход позволил ученому установить и сформулировать основные закономерности формирования состава и свойств гумусовых веществ различных типов почв, а также их зависимости от качества гумифицирующего материала (особенно обогащенности его и среды азотом), режимов увлажнения, температуры, богатства продуктов выветривания пород и почв (кальций, железо, алюминий), минералогического и гранулометрического состава.

Уже в это время на количественном уровне решается вопрос о роли, численности и вкладе биомассы микроорганизмов, микро- и мезофауны в органическое вещество различных типов почв.

Использование теоретических проработок и экспериментальных работ предшественников и современников, в основном химиков-органиков, позволили И.В. Тюрину предположить наличие кислородсодержащих циклов и составе гуминовых веществ, кислород которых может быть замещен на группу

NH с образованием гетероциклических, устойчивых к трансформации и малодоступных для растений соединений азота. Наличие кислородсодержащих гетероциклов предполагало и относительно по сравнению с углерод–углеродной связью ароматических колец легкость разрыва кольца такой структуры. Эти работы имели подтверждение и продолжение лишь в 60-е гг. при использовании новых методов исследований.

В 30–40-е гг. в почвенной науке еще не был общепринятым термин фульвокислоты. Эту группу соединений именовали в кавычках по Одену, креновыми и апокреновыми по Берцеллиусу, считали аналогами уроновых кислот. И.В. Тюрин показал, что фульвокислоты представлены высокомолекулярными оксикарбоновыми кислотами с невысоким содержанием азота, повышенным – Н и О, эквивалентным весом (массой), близким к таковому гуминовых кислот, и выделил их в специфическую группу.

Основываясь на том, что почвы обычно содержат чрезвычайно малое количество водо- и кислоторастворимых, т.е. свободных фульвокислот, за исключением иллювиальных горизонтов почв подзолистого типа, И.В. Тюрин приходит к выводу о том, что в почвах фульвокислоты прочно связаны, причем не только с минеральной частью, но и с гуминовыми кислотами по типу сложных эфиров, в которых карбоксильные группы соединены со спиртовыми. Такая связь может быть разрушена омылением под влиянием щелочи, что и происходит при извлечении гуминовых веществ. Омылению мешают Са и некоторые соединения Fe и Al. Это положение будет в дальнейшем использовано И.В. Тюриным при разработке метода определения фракционно-группового состава гумуса.

Вершиной творчества ученого в области генезиса почв явилась опубликованная в этот период работа "*Географические закономерности гумусообразования*". И.В. Тюрин к 1949 г. установил запасы гумуса и азота в почвах СССР, определил состав гумуса. Его основные выводы сводились к следующим: 1) наиболее закономерно по отношению к содержанию гумуса изменяется группа гуминовых кислот, следовательно, условия, благоприятные для накопления гумуса, способствуют и образованию гуминовых кислот; 2) относительное содержание фульвокислот в гумусе различных типов почв тем больше, чем меньше содержание гуминовых; 3) характерно отношение ГК к ФК: для черноземов оно близко к единице и более, для других типов почв содержание ФК часто в 2–3 раза превышает содержание ГК.

И.В. Тюриным было установлено, что ГК черноземов отличаются высоким содержанием углерода и меньшим кислорода и водорода (элементов воды) по сравнению с ГК подзолистой почвы, что сопровождается черной окраской у ГК черноземов и бурой – у подзолистых почв.

И.В. Тюрин установил, что типы почв различаются не только по содержанию главных групп гумусовых веществ, но и по их состоянию – формам связи с минеральной частью и друг с другом, для гуминовых кислот И.В. Тюрин предложил три формы связей: 1) гуминовые кислоты и их комплексы с фульвокислотами в свободном состоянии или в виде гуматов Al, Fe, Ca, Mg, растворимых в 0,1 н. NaOH, что характерно для бурых гуминовых кислот; 2) гуминовые кислоты и их полимерные комплексы, обычно с незначительным участием фульвокислот, растворимые в щелочи только после декальцирования (удаление из почвы обменного кальция) в форме гуматов Ca, не растворимых в 0,1 н. NaOH. Это характерно для черных гуминовых кислот; 3) гуминовые кислоты, связанные с относительно устойчивыми соединениями Fe и Al, которые извлекаются после выделения упомянутых выше фракций ве-

ществ при попеременной обработке остатка почв кислотой и щелочью. Для фульвокислот он предусмотрел четвертую форму связи – фульвокислоты, извлекаемые минеральными кислотами (наиболее свободная форма).

Анализ фракционно-группового состава гумуса позволил И.В. Тюрину сформулировать следующие закономерности: в почвах с наименьшим содержанием ГК преобладают бурые ГК и их полимерные комплексы. В почвах с высоким относительным и абсолютным содержанием ГК преобладают ГК, связанные с Са. В целом соотношение этих форм находится в соответствии со степенью насыщенности почв кальцием.

И.В. Тюрин придавал большое значение методическим разработкам. В 30-е гг. им были оценены достоинства и недостатки различных методов определения органического углерода в почвах. На основании различий между определением углерода по выходу CO_2 при окислении методом сжигания и по расходу окислителя (по окисляемости) был предложен способ расчета степени окисленности органического вещества почв. Весьма критически он относился к величине коэффициента пересчета органического углерода в гумус (1,724), предложенной Ван-Беммеленом на основании данных Шпрингера; он считал, что для разных гумусовых веществ коэффициент может изменяться от 1,8 до 2,5. Материалы по оценке методов определения органического углерода были представлены И.В. Тюриным III Международному конгрессу почвоведов (Англия, 1935), а метод определения гумуса окислением бихроматом, названный его именем, надежно вошел в науку и практику.

Найдин Павел Георгиевич (1893–1969) – инициатор создания и руководитель Всесоюзной географической сети опытов с удобрениями в ВИУА, автор более 150 научных и научно-популярных работ по применению удобрений в различных районах страны, методике опытного дела, построению системы удобрения в севооборотах. Успех научно-организационной деятельности П.Г. Найдина и его влияние на развитие опытного дела в стране объясняется большим талантом организатора, творческой инициативой, исключительным знанием особенностей земледелия различных регионов, личным знакомством едва ли не со всеми научными и опытными учреждениями и ведущими учеными и практиками опытного дела. П.Г. Найдин был выдающимся лектором и докладчиком, воспитателем целой плеяды ученых-агрохимиков. Он являлся членом Координационного совета по вопросам производства и использования удобрений при Совете Министров СССР, членом технического совета Министерства сельского хозяйства СССР, постоянным консультантом Госплана СССР и РСФСР, Комитета по химии Совета Министров СССР. Вклад П.Г. Найдина в развитие отечественной агрохимии неоспорим и велик.

Сердобольский Иван Павлович (1893–1963) – известный советский ученый, почвовед и агрохимик; окончил физико-математический факультет Ленинградского университета. Свою трудовую деятельность начал в Почвенном институте им. В.В. Докучаева. Сначала работал в лаборатории физической химии, затем – в лаборатории агрохимии.

Свои знания физики, химии и математики широко использовал в исследованиях вопросов почвоведения и агрохимии. Его первые работы в этой области были посвящены изучению варьирования химических свойств почвенного покрова и разработке методов определения физико-химических и агрохимических свойств почв. Затем в течение ряда лет он работает над исследованием окислительно-восстановительных процессов в почвах. Работы И.П. Сердобольского в этой области по глубине понимания почвенных про-

цессов и совершенству методов исследования являются классическими. В результате этих исследований им были созданы научные представления об условиях превращения в почве соединений марганца и железа. Ученый обосновал необходимость применения изотопного метода в агрохимии и почвоведении. Применение в опытах радиоактивных изотопов дало новые представления о химическом характере явлений катионного и анионного обмена в почвах. Он был одним из инициаторов использования радиоактивных стабильных изотопов в сельском хозяйстве и агрономической науке.

И.П. Сердобольский уделял много внимания вопросам методики анализа почв. В *"Руководстве по агрохимическому анализу почв"* ему принадлежат главы о методике определения в почвах рН, окислительно-восстановительного потенциала и о применении изотопного метода в почвенных и агрохимических исследованиях. Благодаря его энергичной деятельности в работах сельскохозяйственных исследовательских и опытных учреждений широкое использование получило применение этих физико-химических методов исследования почв. Определение окислительно-восстановительного потенциала стало применяться при изучении вопросов орошения почв, генезиса и агротехники болотных почв, культуры риса. В 1944 г. вышла из печати книга И.П. Сердобольского *"Калий"*, а в 1952 г. – *"Химия почвы"*; эти труды были переведены на иностранные языки и изданы за рубежом. В них выявилось умение автора ясно излагать современное состояние самых сложных вопросов почвоведения и агрохимии и популяризировать достижения этих наук.

Балашев Лев Леонидович (1894–1982). Сочетал плодотворную научную деятельность в Научном институте по удобрениям (НИУФ) с большой авторской и редакционной работой. Еще будучи студентом Московского сельскохозяйственного института (ТСХА), он вел ответственную работу в редакции первого советского агрономического журнала *"Вестник сельского хозяйства"*. В последующие годы (1929–1931) редактировал журнал *"Удобрение и урожай"*, который был первым журналом в СССР, посвященным вопросам применения минеральных удобрений. С начала организации журнала *"Агрохимия"* (1964) и до последних дней жизни Л.Л. Балашев работал в качестве заместителя главного редактора.

В результате обобщения данных полевых опытов с удобрениями, проводившихся различными сельскохозяйственными организациями, Л.Л. Балашевым была установлена высокая эффективность минеральных удобрений почти на всей территории Советского Союза и наибольшая отзывчивость культур на удобрения в зоне достаточного увлажнения. Данные обобщения полевых исследований были опубликованы в 19 выпусках Трудов НИУФ, охвативших практически все регионы СССР. В сводном труде *"Действие азота, фосфора и калия на урожай полевых культур по районам Союза ССР"* была дана полная сводка результатов полевых опытов с удобрениями. Основным автором и бессменным редактором всех этих трудов, установивших географические закономерности эффективности минеральных удобрений в зависимости от климата, типа почвы и вида культуры, был Лев Леонидович. Им была проведена большая и важная для практики сельского хозяйства работа по составлению *"Справочника по удобрениям"* (1933). В справочнике приведены сведения об агрономических рудах и методах их технологической переработки, дана характеристика азотных, фосфорных, калийных, сложных и других видов удобрений, а также описаны способы и условия применения их в сельском хозяйстве. Ученым были написаны книги *"Навозное удобрение"* (1929)

"Фосфорит на почвах СССР" (1936), составлен словарь-справочник "Химизация сельского хозяйства", выдержавший два издания (1964; 1968). Свою докторскую диссертацию (1947) Л.Л. Балашев посвятил зависимости действия минеральных удобрений от сортовых особенностей растений.

Алямовский Никанор Иванович (1895–1963) – видный агрохимик по вопросам применения удобрений. Основная часть его трудов посвящена проблемам известкования почв. Работая в лаборатории известкования почв ВИУА с момента ее организации в 1932 г., он участвовал в разработке ряда важных направлений по известкованию. При этом особенно много исследований проведено им по изучению форм известковых удобрений, а также по разработке методики определения их состава. Изучая эти вопросы, Н.И. Алямовский создал прибор для колориметрического определения кислотности, который в отличие от других, рекомендуемых как у нас, так и в зарубежных странах, отличался в то время высокой точностью и имел шкалу с устойчивой к воздействию света окраской. Важное качество прибора Н.И. Алямовского заключалось в том, что он мог использоваться не только в лабораторных, но и в полевых условиях. Исследования ученого по известкованию почв подытожены в его фундаментальной монографии "Известковые удобрения в СССР".

Аскинази Давид Львович (1896–1968) внес большой вклад в дело химизации сельского хозяйства нашей страны и развитие отечественной агрохимической науки. Он был выдающимся методистом. Всеобщее признание получил его метод определения емкости поглощения почвы. Д.Л. Аскинази провел ряд оригинальных работ по изучению поглощения фосфора различными компонентами минеральной и органической части почвы, по формам фосфатов и способам их определения в почвах. Работы ученого позволили составить правильное представление о природе почвенной кислотности, о взаимодействии кислых почв с известью и фосфоритом, о путях определения кислотности. Впервые была установлена возможность изменения емкости поглощения почвы при сдвиге ее реакции. Д.Л. Аскинази являлся автором первой инструкции по известкованию почв и инициатором широкого внедрения этого агроприема. Он автор фундаментальной монографии "Фосфатный режим почв с кислой реакцией и пути его регулирования в сельскохозяйственных целях".

Вольфович Семен Исаакович (1896–1980) – один из авторов технологии переработки апатитового сырья на суперфосфат. Им выполнены исследования по экстракции фосфорной кислоты из отечественного сырья. Ему принадлежит инициатива создания первой технологической схемы производства хлористого калия из сильвинита. На основе его работ по использованию борносиликатных руд реализован в промышленности кислотный метод получения борной кислоты. Под руководством С.И. Вольфовича исследованы физико-химические процессы кристаллизации нитрата аммония и других солей, а на основе работ в области утилизации фтористых газов, выделяющихся при переработке природных фосфатов, на промышленных предприятиях производят фтористые и кремнефтористые соли натрия, калия, аммония. С.И. Вольфович участвовал в освоении установки для промышленного синтеза аммиака, впервые осуществленного в СССР, и был одним из инициаторов разработки технологического процесса получения мочевины и ее композиций с фосфатами аммония. Он был одним из создателей и руководителей Научно-исследовательского института по удобрениям и инсектофунгицидам (НИУИФ). Совместно с Д.Н. Прянишниковым внес большой вклад в разработку и осуществление планов химизации сельскохозяйственного производства в нашей стране.

Журбицкий Зенон Иосифович (1896–1986) изучал вопросы теории питания растений и методики постановки вегетационных опытов. Им были заложены научные основы питания овощных культур и методов применения удобрений в овощеводстве. В результате многолетних работ по изучению минерального питания большого набора биологически весьма разнообразных овощных растений З.И. Журбицкий разработаны принципы применения удобрений для получения высоких урожаев. Им выполнен целый ряд уникальных исследований по управлению ростом и развитием растений на основе изучения их потребности в элементах минерального питания. З.И. Журбицкий провел оригинальные эксперименты по изучению роли электрического заряда атмосферы и электрического поля Земли в питании растений, а также по совершенствованию методов выращивания растений в беспочвенной среде (гидропоника и аэропоника). Его перу принадлежат фундаментальные труды: *"Вегетационный метод"* и *"Физиологические и агрохимические основы применения удобрений"*.

Мамченков Иван Прохорович (1896–1980). Провел оригинальные многоплановые исследования по оценке различных способов хранения навоза. Установил, что при аэробном способе хранения навоза во избежание потерь азота необходимо компостировать его с суперфосфатом и фосфоритной мукой. Им были разработаны и реализованы наиболее рациональные способы приготовления и хранения навоза, его компостирования с фосфоритной мукой и суперфосфатом, с различными органическими компонентами, что позволяло получать удобрения высокого качества. Показал, что при компостировании навоза с фосфоритной мукой увеличивается скорость его гумификации, сокращаются потери азота навоза, повышается коэффициент использования фосфора фосфоритной муки. Компостирование навоза с суперфосфатом тоже резко сокращает потери азота. Впервые им было установлено, что при саморазогревании торфа и торфонавозных компостов до 60-70°C значительно повышается содержание в них аммонийного и легкогидролизуемого азота. Изучение различного рода подстилок (солома, древесные опилки, торф.) показало, что экономически наиболее целесообразно применять на подстилку солому и торф, поскольку мобилизация азота торфа достигается при компостировании его с навозом, навозной жижей, с различными отходами сельского и коммунального хозяйства. Была изучена возможность использования осадков сточных вод на удобрение и доказано, что наиболее выгодно совместное применение органических и минеральных удобрений в севообороте.

Соколов Андрей Васильевич (1898–1980) разработал принципы агрохимического районирования территории СССР. Ему принадлежит заслуга в творческом объединении советских агрохимиков и почвоведов для решения проблемы интенсификации и химизации сельского хозяйства. Он увязывал результаты исследований почвоведов с задачами планирования сельского хозяйства, проблемами применения удобрений, агрохимслужбы и запросами агрохимической практики. А.В. Соколов является одним из инициаторов создания агрохимлабораторий при МТС, а в послевоенные годы – создания в СССР единой государственной агрохимической службы. Круг научных интересов ученого был очень широк, причем по некоторым направлениям он был пионером или дал мощный толчок их развитию. А.В. Соколов разработал микродинамический метод оценки почвенного плодородия, изучил характер взаимодействия органических и азотных удобрений с почвой. Большое место в научных исследованиях ученого занимают вопросы фосфорного питания растений. Еще в 30-е гг. прошлого столетия он исследовал содержание в рас-

тениях различных форм фосфорных соединений в зависимости от условий их питания. В этих экспериментах по методам, разработанным им самим, определялось содержание неорганических и органических соединений фосфора с подразделением на фосфор нуклеопротеидов, фосфатидов, фитина и сахарофосфатов. Это были первые исследования по изучению влияния условий выращивания на содержание различных форм соединений фосфора в растениях. Замечательным в постановке этих исследований является глубокий интерес к метаболизму соединений фосфора в растении. Изучая возможность регулирования темпов роста и развития посредством фосфорного питания, А.В. Соколов связывал ускоренное развитие растений с интенсивным синтезом фосфатидов и нуклеопротеидов. Наряду с изучением фосфорного метаболизма в растениях, большое внимание он уделил установлению доступных растениям форм фосфора в почвах. Ученый разработал оригинальный метод определения с помощью изотопа фосфора ^{32}P сравнительной доступности растениям фосфора из различных удобрений, а также из почвенных запасов. На основе исследования фосфорного и азотного питания растений, фосфорного режима почв, изучения свойств фосфорных и калийных удобрений он обосновал целесообразность производства аммофоса и сложных удобрений на его основе.

А.В. Соколов выдвинул и дал научное обоснование идее гранулирования удобрений, установил необходимость их производства и применения. Он являлся также неутомимым пропагандистом рядкового внесения удобрений. Первым подметил сходство в реагировании различных видов растений на известкование и на внесение хлорсодержащих удобрений, что позволяет предвидеть отношение отдельных растений к хлоридам. В ряде работ ученого получили творческое развитие исследования Д.Н. Прянишникова по проблеме биологического азота в земледелии нашей страны. В частности, он показал размеры азотфиксации бобовыми культурами при различной их урожайности на отдельных агротехнических фонах. А.В. Соколову принадлежит заслуга в развитии такого важного экологически и экономически направления агрохимии, как изучение круговорота и баланса веществ в земледелии и сравнение его с круговоротом и балансом в естественных экосистемах. Занимаясь агрохимическими проблемами, Он не мог обойти и методическую сторону исследований: это разработка агрохимических методов анализа почв; применение только что открытых радиоактивных изотопов в почвенно-агрохимических исследованиях; микродинамический подход к изучению распределения частиц удобрений в почве; почвенно-растительная диагностика питания и состояния растений. Нельзя пройти мимо такого методического направления работы А.В. Соколова, как подготовка, закладка и проведение вегетационных и полевых опытов. Он одним из первых в нашей стране стал применять для анализа их достоверности аппарат математической статистики. А.В. Соколов – автор таких фундаментальных работ как *"Распределение питательных веществ в почве и урожай растений"* (1947), *"Агрохимия фосфора"* (1950), *"Вегетационный метод"* (1938) и *"Анализ сельскохозяйственных растений"* (1941). Он редактировал ряд руководств и справочных изданий по вопросам агрохимии и применения удобрений: *"Справочник по удобрениям"* (1933), *"Справочник агронома по удобрениям"* (1934), *"Спутник агрохимика"* (1940), *"Справочник по минеральным удобрениям"* (1960), *"Справочник по химизации сельского хозяйства"* (1969), *"Руководство по составлению почвенных и агрохимических карт"* (1964), *"Агрохимические методы исследования почвы"* (1944–1975).

Аринушкина Евдокия Васильевна (1899–1994). Вся научная и педагогическая деятельность Е.В. Аринушкиной была целиком связана с Московским государственным университетом, где она начала работать с 1936 г. Ее научные исследования были направлены на развитие учения о микроэлементах и разработку, совершенствование и систематизацию методов анализа химического состава почв. Она исследует состояние микроэлементов в системе почва–растение, поступление марганца, цинка, меди, бора в растения, оценивает их содержание в плодах, листьях, побегах различных культурных растений, изучает формы соединений, динамику микроэлементов в почвах СССР.

Одновременно Е.В. Аринушкина создает первый спецкурс о микроэлементах в почвах и растениях и читает его студентам, специализирующимся в области химии почв. В эти же годы она начала читать курс химического анализа почв и грунтов для студентов почвоведов и грунтоведов. Основу курса составлял валовой анализ, который знакомил студентов с приемами разложения почв количественного определения содержания химических элементов.

В 1949 г. выходит учебное пособие *"Валовой химический анализ почв и грунтов"* – первое из серии руководств по химическому анализу почв, созданных Е.В. Аринушкиной. Эта книга оказалась полезной не только для студентов МГУ, но и для производителей – почвоведов и грунтоведов. В 1952 г. она выпускает новое учебное пособие *"Химический анализ почв и грунтов"*, в котором рассматривались все анализы почв. Самым главным научным трудом в жизни Е.В. Аринушкиной стало вышедшее в 1961 г. *"Руководство по химическому анализу почв"*, которое сделалось настольной книгой для почвоведов, агрохимиков, земледельцев, геологов и грунтоведов. Все методы, приведенные в руководстве, были тщательно проверены, многие – усовершенствованы. Именно она ввела в практику анализа почв желатиновый метод определения кремниевой кислоты, облегчивший труд многих аналитиков.

До нее в нашей стране практически не существовало пособий по химическому анализу почв, кроме книги К.К. Гедройца, которая вышла еще в 20-х гг. В книге Е.В. Аринушкиной химический анализ почв рассматривается систематически, приводятся комплексные наборы методов, характеризующие все важнейшие свойства почв. Она написана в ясной, доступной форме. В дальнейшем, по мере появления новой техники, Е.В. Аринушкина стремится вводить в учебное пособие новые методы. В результате этой большой работы в 1970 г. вторым изданием вышла книга *"Руководство по химическому анализу почв"*, которой и по сей день пользуются в учебных заведениях и агрохимических лабораториях. В эту книгу введены комплексометрические методы определения железа, алюминия, кальция, магния и серы, а также определение микроэлементов в различных почвах, что являлось основной темой научно-методической работы Е.В. Аринушкиной; кроме того, включена глава *"Ионнообменные смолы и их использование в аналитической практике"*. Работа над книгами по химическому анализу почв стала главным делом всей жизни Е.В. Аринушкиной; поиски нового, лучшего характерны для нее как для ученого и преподавателя.

Баранов Павел Александрович (1899–1996) – известный ученый и общественный деятель в области химизации сельского хозяйства нашей страны. Он одним из первых в СССР широко развернул исследования физико-химических и физико-механических свойств удобрений. Эти исследования явились значительным вкладом в агрохимическую науку и послужили базой для решения многих вопросов по улучшению качества удобрений. Большое значение имеют его фундаментальные работы по изучению действия грану-

лированных фосфорных туков и жидких азотных удобрений. П.А. Баранов был зачинателем работ по изучению гранулирования аммиачной селитры. Ученый провел технико-экономическую проработку новой формы жидкого азотного удобрения – раствора карбамида-аммиачной селитры (КАС). Обобщая зарубежный и отечественный опыт применения жидких азотных удобрений, он со своими коллегами описал особенности КАС, которые в значительной степени обусловлены их физико-химическими свойствами. Было показано, что на их основе может быть организовано приготовление и внесение в почву с большой равномерностью жидких смешанных удобрений. Его исследования жидких азотных удобрений были в СССР одними из первых, в которых детально изучались агрохимические свойства аммиака, его влияние на почву, превращение и миграция в зависимости от реакции, температуры, влажности, гранулометрического состава почвы. П.А. Барановым разработан метод совместного применения суперфосфата и фосфоритной муки. Им выявлены особенности физико-химического взаимодействия гранулированного суперфосфата с почвой, установлены условия наиболее эффективного его применения и требования к его качеству. Он предложил локальное внесение удобрений, изучил процессы превращения гранулированных и жидких удобрений в почве в зависимости от способов их внесения, разработал методы определения потребности почв в удобрениях. Большая заслуга принадлежит П.А. Баранову в разработке рекомендаций по правильному использованию торфяных угодий. Он обосновал, что торфяники необходимо широко использовать для возделывания кормовых культур, а применение торфо-минеральных удобрений, особенно в чистом виде, экономически и агрономически нецелесообразно. Особо следует отметить деятельность ученого в развитии химизации сельского хозяйства еще в начальный период социалистического строительства в нашей стране. П.А. Баранов принимал самое деятельное участие в разработке принципов географического размещения вновь создаваемых химических заводов по производству минеральных удобрений и особенно суперфосфатной промышленности в третьей пятилетке. Им проведена большая работа в научно-технической экспертизе Госплана СССР, где он участвовал в определении потребности страны в минеральных удобрениях, размещении их производства и в разработке их ассортимента.

Ковальский Виктор Владиславович (1899–1994). Одним из первых в стране начал заниматься проблемой микроэлементов. Первые работы в этой области, которой он отдал всю свою жизнь, были выполнены в 1929–1931 гг. и посвящены физиологической роли "следов" серебра, алюминия и меди. В организованном по его инициативе в 1935 г. отделе сравнительной биохимии Института биохимии АН УССР он широко ставит исследования по химической изменчивости организмов и живого вещества, одобренные В.И. Вернадским.

В.В. Ковальским показана значительная химическая гетерогенность биосферы, хорошо характеризующаяся биогенными циклами химических элементов, начальным звеном которых служит почвообразующая порода, а конечным – животные и человек. Им были установлены в различных геохимических условиях страны биогенные циклы: меди – Нечерноземная зона, Южный Урал, Дагестан; кобальта – Нечерноземная зона, Азербайджан, Южный Урал; цинка – Южный Урал; бора, кобальта, меди, марганца – Барабинская низменность, Кулундинская степь; бора – Казахстан, Узбекистан; селена – Тува; иода – многие области Союза; урана – Киргизия и другие районы; цинка, ртути, мышьяка и сурьмы – Ферганская область и других элементов в раз-

личных областях СССР. Были выявлены биологические реакции растений, животных и человека на избыток или недостаток в геохимической среде отдельных элементов или изменений их соотношений, открыты и впервые описаны эндемии животных и человека: гипо- и авитаминоз В₁₂ в Нечерноземной зоне, молибденовая подагра – в Анакаване, свинцовая невралгия – в Армении, борные энтериты – в Казахстане, стронциевые хондро-остеодистрофии – в Забайкалье, Таджикистане и другие.

На основе полевых наблюдений реакций организмов на геохимические факторы сред и моделирования их В.В. Ковальский разработал новую биогеохимическую дисциплину – геохимическую экологию микроорганизмов, растений, животных организмов. Геохимическая экология легла в основу учения о биогеохимическом районировании биосферы, которое принято международными организациями как новая система районирования и картирования биосферы. Им создана система таксонов биосферы – регионы, субрегионы биосферы и входящие в их состав биогеохимические провинции, ранее в 1938 г. предложенные А.П. Виноградовым. Система биогеохимического районирования биосферы основывается на исследовании биогеохимической пищевой цепи химических элементов, их биогенных циклов. В.В. Ковальским составлена схематическая карта биогеохимического районирования Советского Союза. По мнению ряда зарубежных ученых, немногие страны могут похвастаться такой картой, более подробной и более насыщенной данными. Под его руководством изучено более 30 субрегионов биосферы и 130 биогеохимических провинций. Важной основой определения потребности живого организма в микроэлементах является учение В.В. Ковальского о пороговых концентрациях химических элементов. Им выявлено существование локальных биогеохимических разностей биогенных циклов в биосфере, что конкретизирует понятие биогеохимической гетерогенности и создает условия для обоснования практического использования микроэлементов в сельском хозяйстве, медицине, ветеринарии, биотехнологии и других сферах народного хозяйства.

Эколого-геохимические исследования В.В. Ковальского положены в основу нормирования микроэлементов в питании людей и сельскохозяйственных животных в целях адаптации организмов к экстремальным условиям окружающей среды и профилактике эндемических заболеваний, промышленного производства препаратов и кормов, обогащенных микроэлементами. В.В. Ковальский придавал первостепенное значение завершению научных разработок, внедрению их в практику, постоянно подчеркивая, что теоретические биогеохимические исследования составляют важную основу для решения народнохозяйственных задач не только в будущем, но уже и в настоящее время. Он – автор многочисленных рекомендаций по применению подкормок микроэлементами в животноводстве, им и его учениками разработаны способы искусственного изменения биогеохимических пищевых цепей в водоемах, обеспечивающие значительное увеличение рыбопродуктивности и качества рыбы как пищевого продукта.

Клечковский Всеволод Маврикович (1900–1974) одним из первых в России использовал искусственные радиоактивные изотопы с целью изучения питания растений и исследования эффективности применения удобрений. В 1947 г. им в Тимирязевской академии была организована биофизическая лаборатория, ставшая крупнейшим центром в области применения радиоизотопов и ядерных излучений в исследованиях по сельскому хозяйству.

В.М. Клечковский является основоположником нового важного раздела современной агрохимии, получившего название агрохимии радиоактивных

продуктов деления. Исключительно важное теоретическое и практическое значение исследования поведения осколков деления в почвах и растениях связано с быстрым развитием атомной техники и промышленности. В.М. Ключевским и его многочисленными учениками была выполнена обширная программа работ, которая позволила вскрыть основные закономерности поведения в почвах широкого спектра радиоактивных продуктов деления и особенности их поступления в растения и накопления в урожае. Фундаментальные исследования поведения в почвах и перехода в растения микроколичеств радиоактивных изотопов стронция, цезия, циркония, церия, рутения и других радионуклидов, относящихся к осколкам деления ядер тяжелых атомов, явились основополагающими при решении многих вопросов, касающихся проблемы радиоактивных выпадений и миграции радионуклидов по биологическим и пищевым цепям. Результаты этих работ ученого были представлены от СССР в Научный комитет по действию атомной радиации ООН, обсуждались на первой и второй конференциях по мирному использованию атомной энергии в 1955 и 1958 гг. и получили международное признание.

Сапожников Николай Аркадьевич (1901–1980). Крупный ученый в области агрохимии и земледелия. Его научная деятельность была связана с самыми ответственными периодами развития сельского хозяйства страны: коллективизацией, развитием хлопководства в республиках Закавказья, восстановлением сельского хозяйства после Великой Отечественной войны, интенсификацией его в Нечерноземной зоне РСФСР. Огромный фактический материал, собранный лично им, послужил основой для написания им свыше 100 печатных работ и четырех монографий. Особое место в этих работах занимает разработка системы земледелия как составной части рационального ведения сельского хозяйства в Северо-Западной зоне страны, результаты которой обобщены в виде трех отдельных изданий. При разработке теоретических основ системы обработки почв применительно к Нечерноземной зоне ярко проявился его многосторонний подход к разрабатываемым проблемам, комплексное сочетание агрофизических и агрохимических исследований с изучением биологических процессов в почве.

Н.А. Сапожниковым впервые в СССР был предложен оригинальный метод использования радиоактивного изотопа фосфора при определении поглотительной способности корневой системы растений в полевых условиях. Итогом этого этапа работы явилась монография *"Биологические основы обработки подзолистых почв"*. Монография *"Научные основы системы удобрения в Нечерноземной полосе"* стала настольной книгой специалистов агрохимслужбы.

Одним из первых в стране Н.А. Сапожников возглавил изучение процессов трансформации азота и азотного питания растений с широким использованием стабильного изотопа ^{15}N . В руководимой им лаборатории были проведены оригинальные исследования с меченой микробной биомассой, меченым азотом, с помощью метода изолированного питания и тяжелого азота показано значение физиологического фактора в использовании удобрениями растениями почвенного азота. Методом двойной метки удобрений ^{15}N и ^{32}P выявлено взаимное влияние названных элементов на азотное и фосфорное питание растений на почвах разного уровня плодородия. Результаты этих исследований нашли отражение в монографии *"Азот в земледелии Нечерноземной полосы"*.

Чернов Василий Андреевич (1901–1960). Первые его исследования были посвящены изучению влияния способов внесения удобрений на культуру картофеля. Он разработал и описал локальное внесение удобрения и устано-

вил преимущество этого способа перед разбросным. Выявил отрицательное воздействие высоких норм физиологически кислых минеральных удобрений на рост и развитие растений и нашел способ нейтрализации их вредного воздействия с помощью извести. В.А. Черновым был разработан способ местного внесения комплексных удобрений, состоящих из минеральных солей питательных элементов, извести и органических веществ, обеспечивающих получение высоких урожаев картофеля. Изучил передвижение питательных элементов в почве, исследуя диффузию ионов NO_3^- , и Cl^- и реакции обмена катионов в почвах. Ученый установил, что K -константа равновесия, рассчитанная по закону действующих масс, при катионном обмене в почве не является постоянной величиной, так как почва – открытая система и законы термодинамики не вполне применимы к ней. Им было доказано, что кислотность красноземов и подзолистых почв обусловлена не водородом, а адсорбированными ионами алюминия. Он развил новое направление в агрохимии – изучение микроэлементов, содержащихся в почве и растениях. Совместно с сотрудниками были разработаны точные методы определения ничтожно малых количеств микроэлементов и изучено их содержание в различных почвах СССР. Примером практической ценности научных разработок В.А. Чернова является выявление недостатка микроэлементов в почвах Калининградской области как причины падежа крупного рогатого скота.

Турчин Федор Васильевич (1902–1965) занимался агрохимической оценкой различных форм простых и сложных минеральных удобрений. Им была установлена равноценность мочевины и аммиачной селитры для питания культурных растений в различных почвенно-климатических зонах страны. Изучая применение в сельском хозяйстве жидких азотных удобрений, он показал, что аммиак и аммиакаты, если исключить возможность потерь азота из этих удобрений при внесении их в почву, также усваиваются растениями и дают такой же эффект, как и обычные "твердые" азотные удобрения. Ф.В. Турчин внес новые представления о значении калия в азотном и углеводном обмене, синтезе азотистых органических соединений и аммиачном питании растений. Ученый неоднократно указывал на значимость калия для нормального усвоения аммиачного азота злаковыми культурами. Им было установлено, что недостаток калия в условиях аммиачного питания вызывает обильное накопление аммиака в растениях, вследствие чего наступает аммиачное отравление, приводящее в крайних случаях к гибели растений. Как было установлено, в условиях аммиачного питания у растений, испытывающих недостаток в калии, повышается содержание редуцирующих сахаров. Будучи инициатором применения соединений, меченных стабильным изотопом ^{15}N , Ф.В. Турчин провел классические исследования по поступлению в растения и использованию на синтез аминокислот и белков азота нитратов, аммония и амидов. Им были установлены последовательность образования в растениях отдельных аминокислот и факт постоянного обновления белков. С именем ученого связано решение многих практических задач агрохимии. Использование тяжелого изотопа при изучении превращений азотных удобрений в различных почвах позволило ему установить фактические размеры потерь этого элемента, происходящие в результате улетучивания из почвы свободного азота и его соединений, а также биологического поглощения данного питательного элемента микроорганизмами почвы. Работы по изучению азотного обмена в растениях позволили Ф.В. Турчину выявить возможность регулирования аминокислотного состава зерна, а, следовательно, и его биологической ценности как продукта питания путем внесения азотных удобрений. Ф.В. Турчин

исследовал также процессы биологической фиксации азота. В его лаборатории было установлено, что при кратковременной экспозиции бобовых растений (12–24 ч) в атмосфере $^{15}\text{N}_2$ фиксированный меченый азот обнаруживается в высоких концентрациях исключительно в клеточном соке клубеньковой ткани и в значительно меньших количествах – в клеточном соке вегетативных органов растений. В клубеньковых бактериях *Rhizobium* меченый азот при такой продолжительности экспозиции бобовых растений практически отсутствует. Роль этих бактерий, по мнению Ф.В. Турчина, заключается в индуцировании образования этой специфической клубеньковой ткани. Согласно выдвинутой ученым гипотезе, бактерии *Rhizobium*, проникая в корни бобовых растений, выделяют вещество, индуцирующее образование клубеньковой ткани на поверхности корней, в которой и происходит фиксация атмосферного азота. Но этот процесс, как правильно подметил Ф.В. Турчин, осуществим только в том случае, если клубеньковая ткань снабжается некоторым специфическим веществом, синтезируемым на свету в листьях бобовых растений. Как было им установлено, первым продуктом фиксации является аммиак, который быстро трансформируется в амидную группу аспарагина. Эти работы позволили пересмотреть многие устаревшие представления о биологической фиксации азота и поставить проблему промышленного использования этого процесса. Широкие теоретические исследования Ф.В. Турчина всегда были тесно связаны с решением практических вопросов, имеющих огромное народнохозяйственное значение: организация производства удобрений и установление требований к их стандартам; оценка различных форм азотных и комплексных удобрений; установление потребности сельского хозяйства страны в минеральных удобрениях и определения их оптимального ассортимента.

Авдонин Николай Сергеевич (1903–1979) выполнил целый ряд оригинальных исследований по обоснованию повышенной эффективности гранулированного суперфосфата по сравнению с порошковидным в системе почва–удобрение–растение–микроорганизмы. Им было установлено, что снижение ретроградии фосфорной кислоты гранулированного суперфосфата при внесении его в почву связано с активизацией микробиологических процессов в сфере вокруг гранул, что снижает химическую иммобилизацию фосфора. Очаги же с повышенной концентрацией питательных веществ улучшали поступление их в растения. Эти исследования расширили теоретические представления об эффективности удобрений, внесенных в рядки с семенами. Н.С. Авдониным было установлено, что растения в первый период жизни слабее усваивают фосфор из труднорастворимых форм, что также является одной из немаловажных причин высокой эффективности суперфосфата, внесенного в рядки при посеве культуры. Он одним из первых показал положительное влияние фосфорных удобрений на рост и формирование корневой системы растений. Им также была подмечена возможность ослабления отрицательного действия на растения подвижных форм алюминия и кислотности, особенно в первый период их жизни, внесением фосфорных удобрений. Теоретические положения по действию гранулированных удобрений были опубликованы Н.С. Авдониным в книгах: "*Гранулированные удобрения*" и "*Применение гранулированного суперфосфата*". Он разработал теоретические основы питания растений в разные периоды их роста и развития. Эти вопросы нашли освещение в его книгах: "*Подкормка растений*", "*Вопросы системы питания растений*" и "*Подкормка сельскохозяйственных растений*". Н.С. Авдонин детально изучил негативные свойства дерново-подзолистых почв и их роль в функционировании системы почва–растение–удобрения.

Впервые в науке он ввел понятие "скрытое отрицательное действие удобрений". Раскрытие этого явления позволило ученому рекомендовать меры по повышению эффективности азотно-калийных удобрений. Впервые в науке им установлено, что негативные свойства дерново-подзолистых почв – излишняя кислотность, подвижные формы алюминия, марганца – являются одной из главных причин массовой гибели озимых зерновых культур и многолетних трав при перезимовке в Нечерноземной зоне нашей страны. Эти работы открыли широкие возможности по борьбе с гибелью растений. Итоги этих исследований автор изложил в книгах: "*Свойства почвы и урожай*" и "*Научные основы применения удобрений*". Н.С. Авдониным и его коллегами проведены оригинальные исследования по выяснению причин кальциефобности растений и по преодолению этого явления. Как показали работы ученого, главной причиной кальциефобности оказалось нарушение обмена веществ в растениях вследствие изменения соотношения в них между кальцием и калием. Для преодоления кальциефобности растений ученый впервые рекомендовал вносить известь в дозе $1/4-1/2$ гидролитической кислотности. Н.С. Авдонин установил причины низкого содержания белка в растительной продукции, получаемой в Нечерноземной зоне СССР. Оказалось, что не климат этой зоны, а негативные свойства дерново-подзолистых почв понижают содержание белка в растениях. Им было установлено, что азотные удобрения не всегда повышают содержание белка в растениях. Возглавляя кафедру агрохимии МГУ в период 1952-1979 гг., Н.С. Авдонин вел большую работу по пропаганде агрохимических знаний. Автор учебника "*Агрохимия*" (1978).

Кауричев Иван Сергеевич (1903–2003.). Научно-исследовательская деятельность в большой мере связана с изучением сезонной динамики современных почвенных процессов, особенно в связи с явлениями временного избыточного увлажнения. На основании обобщения обширного фактического материала им была разработана оригинальная теория элювиально-глеевого процесса. Впервые в отечественной и зарубежной литературе И.С. Кауричевым были сформулированы главные черты этого процесса, показано его широкое распространение в целом ряде почвенно-климатических зон, выявлена важная роль в генезисе и плодородии многих типов почв.

И.С. Кауричевым было установлено, что для почв временного поверхностного увлажнения характерны контрастность их окислительно-восстановительного (ОВ) режима, специфический состав органических веществ, "расшатанность" минеральной части почвы, образование устойчивых водорастворимых органо-минеральных соединений, ярко выраженная их миграция по почвенному профилю, а также сегрегация в форме разнообразных конкреционных образований.

В ряде его работ была раскрыта природа превращения фосфатов в связи с развитием восстановительных процессов, изучены особенности фосфатных режимов во многих типах почв. Впервые дана обстоятельная характеристика ОВ режима и раскрыты особенности миграции веществ для подзолистых, болотно-подзолистых, оподзоленных почв, почв западин, черноземов лесостепи, каштановых и солонцовых почв, солодей. Дана оригинальная трактовка типов ОВ режимов. Совместно с учениками осуществлена углубленная разработка ОВ буферных свойств почв, применения регуляторов ОВ состояния. Особенностью проведенных исследований является агрономическая оценка ОВ состояния почв. Широкий охват всех аспектов изучения ОВ режимов почв разной степени увлажнения заслуженно выделил И.С. Кауричева как ведущего ученого в этой области.

Значительный вклад в науку представляют работы ученого по изучению условий, форм и масштабов миграции ряда соединений в почве. Впервые изучены комплексные водорастворимые органо-минеральные соединения почв, дана углубленная физико-химическая характеристика мигрирующих в почвенном профиле продуктов. Дана агрономическая оценка процессов комплексообразования и их роли в системе почва-растение.

С именем И.С. Кауричева и его учеников связано широкое внедрение в экспериментальные почвенные исследования новых методов: 1) сочетание полевых стационарных наблюдений за почвенными процессами и режимами с методом моделирования почвенных процессов; 2) разработка оригинального метода лизиметрических хроматографических колонок с использованием активированного угля и окиси Al, комплексонов, оценка боковой, восходящей и нисходящей миграции. Это дало возможность в широком географическом аспекте изучать формы и масштабы миграции веществ в почвах. Разработаны теоретические основы указанных лизиметрических методов; 3) применение радиоизотопной метки в полевых исследованиях миграции некоторых соединений и превращения веществ в почвах. Особенностью используемого экспериментального изучения свойств почв является оценка "живых" почв, системы почва-растение-среда, проведение режимных исследований.

Церлинг Вера Владимировна (1903–1999) провела глубокие и разносторонние исследования по проблемам обмена веществ в онтогенезе сельскохозяйственных культур. Результаты этих исследований вошли в ее докторскую диссертацию: *"Обмен веществ, формирование урожая и диагностика потребности растений в удобрениях"*, которая была успешно защищена в 1962 г. В этой области В.В. Церлинг была одним из ведущих специалистов как в отечественной, так и в зарубежной агрохимической науке. Она внесла большой вклад в разработку научных основ и методики диагностики питания растений и потребности их в удобрениях. Под ее руководством и при непосредственном участии изданы многочисленные инструкции по диагностике питания сельскохозяйственных культур. Она сконструировала прибор для экспресс-анализа растений (ОП-2-Церлинг), широко используемый агрохимической службой. Является автором более 250 научных работ, в т. ч. монографии *"Агрохимические основы диагностики питания сельскохозяйственных растений"* (1978).

Владимиров Андрей Владимирович (1904–1952) – ученик и ближайший помощник Д.Н. Прянишникова. Ему принадлежит инициатива исследования вопроса о влиянии условий минерального питания на накопление в растениях органических кислот. Развивая это направление, он обосновал влияние форм и соотношений минеральных удобрений на накопление различных групп органических веществ и изменение их качества. А.В. Владимировым показано, что минеральные удобрения являются мощным фактором в регулировании обмена и накоплении органических кислот, углеводов, эфирных масел и каучука в растениях. Он провел ряд исследований по технике внесения минеральных удобрений и изучил природу действия гранулированных удобрений. А.В. Владимиров является одним из пионеров теории и практики некорневого питания растений микроэлементами. За фундаментальный труд *"Физиологические основы применения азотистых и калийных удобрений"* ученому в 1950 г. Президиумом АН СССР присуждена премия имени К.А. Тимирязева.

Ковда Виктор Абрамович (1904-1991). Один из известнейших отечественных ученых-агрохимиков. Круг его интересов весьма широк: геохимия солевых процессов в грунтовых водах и в почвогрунтах аридных областей для обоснова-

ния и разработки теоретических принципов мелиорации засоленных и солонцеватых земель; генезис почв и его биогеохимические основы, закономерности географии почв; проблемы биосферы, биологической продуктивности почв.

Работая над первым направлением, связанным с развитием орошаемого земледелия, В.А. Ковда сумел, используя результаты исследований подземных вод и их миграции в земной коре, оценить огромную роль грунтовых вод в формировании почв и их засолении. Наиболее значительными работами этого направления научной деятельности В.А. Ковды являются *"Солонцы и солончаки"* (1937), *"Биологические циклы движения и накопления солей"* (1944), *"Происхождение и режим засоленных почв"* (1946, 1947), *"Почвенно-геохимические показатели нефтеносности недр"* (1951), *"Геохимия пустынь"* (1954), *"Закономерности процессов соленакопления в пустынях Арало-Каспийской низменности"* (1954), *"Значение дренажа в повышении плодородия почв"* (1956), *"Применение дренажа при освоения засоленных почв"* (1958), *"О гидрогенной аккумуляции соединений кремнезема и полуторных окислов в почвах Приамурья"* (1958), *"Микроэлементы в почвах Советского Союза"* (1959), *"Щелочные почвы содового засоления"* (1963), *"Теоретические основы почвоведения"*. В этих работах нашли отражение важнейшие процессы геохимической миграции солей в природных условиях, рассмотрено происхождение солей для ряда крупнейших регионов (Заволжье, Арало-Каспийская низменность), вскрыт механизм засоления почв и вод в различных условиях, а также установлены стадии соленакопления. Все это в итоге позволило ученому дать генетическую классификацию засоленных почв, обосновать взгляды как на остепнение солонцов, развивающихся в условиях отрыва от грунтовых вод, так и на развитие досолончаковой солонцеватости при непосредственном влиянии щелочных пленочно-капиллярных растворов на гидроморфные почвы, а также разработать схему провинций соленакопления в почвах СССР и классификацию орошаемых оазисов. Для каждого типа оазиса им разработан и комплекс мелиоративных мероприятий, учитывающий природную обстановку. В.А. Ковда теоретически обосновал рассоляющую роль дренажа на орошаемых землях и последовательно отстаивал свои взгляды на мелиорацию засоленных земель, несмотря на значительное противодействие, которое в течение многих лет оказывалось ему группой так называемых "антидренажников".

Работы второго направления (генезис, классификация география почв, историческое почвоведение) являются вторым постоянным звеном научной деятельности В.А. Ковды, начиная с самого раннего периода ее. Хронологически это: *"Почвы табачных районов СССР"* (1933), *"Почвы Британии и их окультуренность"* (1935), *"Почвы бассейна р. Дона"* (1939), *"Почвенный покров Ирана"* (1944), *"Почвы Прикаспийской низменности"* (1950), карты природных и хозяйственных условий Туркмении, Южной Украины и Северного Крыма, Среднего Поволжья, Ростовских степей и Волго-Донского пути, Кубани и Ставрополя (1950), *"Почвы дельты Волги"* (1951), *"Минеральный состав растений и почвообразование"* (1956), *"Очерк почв Приамурья"* (1957), *"В пустынях и оазисах Египта"* (1958), *"Очерки природы и почв Китая"* (1959), *"Почвенная карта Азии"* (1964; 1971), *"Общность и различия в истории почвенного покрова континентов"* (1965), *"Почвенная карта мира"* (1965), *"Основы учения о почвах"* (1973), *"Почвенная карта мира в масштабе 1:10000000"* (1974) и др. Три из названных работ посвящены почвенной карте мира.

Среди научных трудов В.А. Ковды выделяется вышедшая в двух книгах капитальная монография *"Основы учения о почвах"*, *"Общая теория почвообра-*

зовательного процесса" (1973). Ответственный редактор этой книги профессор МГУ Г.В. Добровольский совершенно справедливо указывает, что "...по оригинальности и глубине трактовки важнейших вопросов современного почвоведения, по широте их охвата и обилию материала книга В.А. Ковды не имеет себе равных в отечественной литературе и не может быть отнесена ни к учебникам, ни к специальным монографиям. Она представляет собой опыт фундаментально-энциклопедического обобщения современных знаний в области теоретического почвоведения". В этой замечательной книге проблема происхождения и эволюции почв рассматривается на основе творческого развития современных идей биогеохимии и биогеоценологии. Новым является анализ связи почвообразования с неотектоникой и освещение роли идущих в земной коре глубинных процессов, влияющих на почвообразование. Вопросам палеопочвоведения автор уделяет большое внимание и, может быть, самой важной особенностью монографии является то, что почвенная оболочка Земли, вероятно, впервые рассмотрена как часть биосферы, причем часть, отличающаяся наивысшей плотностью жизни и наибольшей геохимической энергией живого вещества. Эта книга как бы связывает работы В.А. Ковды во всех вышеуказанных направлениях с изучением биосферы. Это направление ученый начал развивать с конца 60-х гг. Он показал, что почвенный покров Земли является существенным компонентом биосферы и играет огромную роль в накоплении и перераспределении запасов энергии и элементов, жизненно необходимых всему живому, включая и человека.

В 1968 г. на Межправительственной конференции экспертов по научным основам рационального использования и сохранения ресурсов биосферы ЮНЕСКО В.А. Ковда выступил с докладом "*Современное учение о биосфере*". В этом докладе содержались новые для того времени обобщения: а) о роли гумусовой оболочки почв как общепланетарного аккумулятора и распределителя энергии, прошедшей через фотосинтез растений, и универсального экрана, удерживающего в биосфере биофильные элементы от геохимического стока в Мировой океан; б) об особенностях роли почв в синтетических и деструктивных частях биологического круговорота; в) о совершенно особом характере почв как природных ресурсов. Почвы являются особой формой природных ресурсов в силу того, что отличаются как от возобновляемых; так и от невозобновляемых их форм. В отличие от первых, почвенный покров не возобновляется после разрушения, так как невозпроизводимы условия и история его формирования, а в отличие от вторых, правильное хозяйственное использование почв сохраняет их и позволяет улучшать, придавая им новые качества, отсутствующие в природных почвах.

В.А. Ковда выдвинул также ряд очень важных положений в области агрохимии и основ применения удобрений, справедливо указывая, что мы вступили в век комплексных мелиораций. Он подчеркивал, что они будут эффективны только при условии достаточно высоких доз удобрений. Им неоднократно ставился вопрос о широкой постановке дела изыскания новых видов минеральных удобрений и микроудобрений, а также биохимических удобрений типа витаминов, аминокислот, ферментов.

В.А. Ковда выдвинул идею о создании агрогеохимии как науки об изучении круговорота элементов в агробиоценозах – основных ценозах культурных ландшафтов планеты.

Петербургский Александр Васильевич (1904–1989) – ученик академика Д.Н. Прянишникова. Главное направление его научной деятельности – корневое питание растений, в частности, изучение взаимодействия корневой системы с

твердой фазой почвы при усвоении обменнопоглощенных ионов. Он изучил влияние кислотности почв и содержания в ней подвижного алюминия на рост и развитие растений; разработал теоретические основы известкования кислых почв; выявил условия наиболее эффективного использования молибдена растениями; установил положительное действие на бобовые культуры ванадия; дал агрохимическую оценку комплексным удобрениям. А.В. Петербургский первым выполнил ряд оригинальных исследований по балансу питательных веществ в земледелии. Он – основатель и первый руководитель лаборатории круговорота и баланса веществ в земледелии. А.В. Петербургский – автор фундаментальных монографий: *"Обменное поглощение в почве и усвоение растениями питательных веществ"* (1959), *"Агрохимия и физиология питания растений"* (1971; 1981), *"Концентрированные минеральные удобрения"* (1969), *"Агрохимия комплексных удобрений"* (1975), *"Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии"* (1979). Его перу принадлежат учебники *"Агрохимия и система удобрений"* (1967) и *"Практикум по агрохимии"* (1968). Как крупный ученый-агрохимик, А.В. Петербургский участвовал в качестве эксперта и консультанта Госплана СССР и РСФСР, Министерств сельского хозяйства СССР и РСФСР, ВАСХНИЛ, выполнял поручения сельскохозяйственного отдела ЦК КПСС и Совета Министров СССР. Большие заслуги принадлежат ему в развитии принципиальных положений агрохимической науки, имеющих важное значение для научного обоснования мероприятий по химизации земледелия нашей страны. Он – инициатор создания агрохимической службы в стране. Еще в 1932 г. А.В. Петербургский в соавторстве с Н.Ф. Горбуновым и И.А. Дмитриевым опубликовал книгу *"Агрохимслужба в свекловодстве"*.

Колосов Илья Иванович (1906–1955) экспериментально показал решающую роль обменной адсорбции как важнейшего процесса, при помощи которого осуществляется первичное связывание минеральных веществ на поглощающей поверхности корней. Разработал метод определения поглощающей поверхности корней при помощи учета адсорбции ими метиленовой сини. Ценность этого метода заключается не только в его простоте и доступности, но также и в том, что он позволяет дифференцированно изучать формирование как общей поглощающей поверхности корня, так и его рабочей поверхности, способной к дальнейшей передаче адсорбированных веществ внутрь корня. Это обстоятельство позволяет исследователю получить сразу представление как о размерах поглощающей поверхности корня, так и о ее функциональных свойствах. Результаты исследований, проделанных И.И. Колосовым, позволили установить, что адсорбирующая способность корней существенно изменяется в процессе развития растений. Благодаря этому изменяется зависимость адсорбции ионов от рН наружной среды в различные периоды развития. Вместе с этим установлено значение возрастных изменений для поглощения корнями ионов NH_4^+ , PO_4^{3-} , K^+ и Ca^{2+} . Ученый одним из первых указал на недостаточность диагностирования минерального питания только по содержанию водорастворимой фракции элементов питания в почве. И.И. Колосов установил значимость корневых систем в общем обмене веществ в растении. Используя методику меченых атомов, он показал способность корневых систем к быстрому синтезу высокомолекулярных фосфорорганических соединений – нуклеопротеидов и фосфатидов. Одновременно им было установлено и передвижение из корневых систем ряда аминокислот в надземные части растения. Результаты исследований И.И. Колосова по изучению корневых систем как органа питания растений были обобщены в его уникальной монографии *"Поглотительная деятельность корневых систем растений"*, которая была опубликована в 1962 г. посмертно.

Магницкий Константин Павлович (1906–1975) разработал методы ускоренного определения содержания элементов минерального питания в листьях, почве и питательных растворах. Установил признаки голодания важнейших сельскохозяйственных культур элементами минерального питания. Предложил способы определения потребности растений в удобрениях. Одним из первых указал на необходимость применения магниевых удобрений в растениеводстве. Автор фундаментальных монографий: *"Магниевые удобрения"* (1951), *"Контроль питания полевых и овощных культур"* (1964), *"Диагностика потребности растений в удобрениях"* (1972), *"Полевой контроль питания растений"* (1959), *"Новые методы анализа растений и почв"* (1959), *"Сильвинит, каинит, карналлит"* (1963).

Пейве Ян Вольдемарович (1906–1976) – основоположник агрохимии микроэлементов, внесший огромный вклад в решение вопросов теории и практики применения микроудобрений. Он одним из первых в нашей стране начал проводить фундаментальные исследования по изучению значения микроэлементов для жизнедеятельности культурных растений, а также их эффективности в повышении урожая и улучшении качества продукции сельскохозяйственных культур. Я.В. Пейве изучил роль микроэлементов в питании и ферментативной активности растений, предложил методы определения в почвах меди, марганца, молибдена, кобальта, цинка, подвижных форм калия и алюминия, а также гуминовых кислот. Он выделил и изучил содержащие металл ферменты нитратредуктазу и нитрогеназу; исследовал структуру и функции содержащего железо белка леггемоглобина из клубеньков бобовых культур; открыл ранее неизвестное свойство растительной пероксидазы катализировать восстановление нитратов у растений в присутствии диэтилдитиокарбаматов и начал исследование механизма этой реакции. Я.В. Пейве установил эффективность удобрения почв бором и медью; разработал оригинальную методику определения подвижного калия в почвах, сыгравшую существенную роль в улучшении агрохимического обслуживания и вошедшую в дальнейшем в учебники агрохимии. Он автор книг: *"Биохимия почв"* (1961), *"Микроэлементы и ферменты"* (1960), *"Руководство по применению микроудобрений"* (1963). Им была организована Лаборатория биохимии микроэлементов в Институте физиологии растений АН СССР, которой руководил до последних дней жизни. Был бессменным главным редактором бюллетеня "Микроэлементы в СССР". В 1958-1966 гг. Я.В. Пейве являлся Председателем Совета Национальностей Верховного Совета СССР. С 1966 г. он занимал должность главного ученого секретаря Президиума АН СССР, с 1971 по 1975 г. – академика-секретаря Отделения общей биологии АН СССР.

Каталымов Михаил Васильевич (1907–1969) – один из инициаторов практического применения микроэлементов в сельском хозяйстве. Провел глубокие исследования в области агрохимии микроэлементов. Дал агрохимическую оценку различным формам микроудобрений. Установил возможность использования различных отходов промышленности в качестве микроудобрений. Разработал методы анализа почв, растений и удобрений на содержание в них микроэлементов. Его книга *"Микроэлементы и микроудобрения"* (1965) удостоена премии имени Д.Н. Прянишникова.

Школьник Марк Яковлевич (1907–1983). Научная деятельность ученого посвящена одному из важнейших разделов проблемы минерального питания растений – изучению микроэлементов, имеющему серьезное теоретическое и практическое значение. В нашей стране является одним из пионеров в этой

области. Первые исследования ученого по микроэлементам посвящены физиологической роли бора. Уже тогда он показал необходимость бора не только для двудольных растений, но и для злаков, а также значение этого элемента для плодообразования и его влияние на разные стороны обмена веществ. Результаты этих работ способствовали решению важных практических вопросов – усилению с помощью бора плодообразования у бобовых и овощных культур. В 1939 г. М.Я. Школьник опубликовал первую в нашей стране и в мировой литературе сводку работ о роли микроэлементов в жизни растений. Под его руководством и непосредственным участием позже были выполнены целый ряд уникальных исследований по изучению физиологической роли микроэлементов в жизнедеятельности растений. Были получены экспериментальные подтверждения о причастности микроэлементов к энергетическому, нуклеиновому, фенольному, ауксиновому обменам, синтезу компонентов клеточных стенок. Были выяснены физиологические причины тератологических изменений у растений под влиянием недостатка или избытка микроэлементов. М.Я. Школьник автор монографий *"Роль бора и других микроэлементов в жизни растений"* (1939), *"Значение микроэлементов в жизни растений и земледелии"* (1950), *"Микроэлементы в сельском хозяйстве"* (1957), *"Микроэлементы в жизни растений"* (1974).

Александрова Людмила Николаевна (1908–1983). Научные интересы были сосредоточены в области химии гумусовых веществ и их производных. Результаты исследований позволили ей создать свою концепцию о процессе гумификации. В 1966 г. во время господства конденсационной гипотезы гумификации, опубликовала основы новой гипотезы, согласно которой элементарными звеньями гумификации являются окислительное кислотообразование, формирование азотистой части молекулы, фракционирование и дальнейшая трансформация новообразованных гумусовых кислот, их взаимодействие с минеральной частью почвы. Эта гипотеза процесса гумификации стала в настоящее время ведущей и объясняет причины колебаний элементного состава и других свойств гумусовых кислот не только в разных типах почв, но и в пределах одного почвенного профиля и горизонта. Теория механизма взаимодействия гумусовых веществ с минеральной частью почвы позволила выявить пути их закрепления в почве и объяснить причины слабого закрепления гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах даже после их известкования. Это позволило Л.Н. Александровой в 60-ые гг. настаивать на необходимости систематического обогащения дерново-подзолистых почв органическим веществом и в настоящее время положительный баланс гумуса — одна из основных задач прикладного почвоведения.

Исследования ученого в области химии гумусовых веществ занимают ведущее место в мировой науке; разработанные ею теоретические принципы и механизмы реакций гумификации и органо-минеральных взаимодействий широко используются почвоведомы различных направлений, они вошли в учебники и учебные пособия. Итогом ее многолетних теоретических и экспериментальных исследований по проблеме почвенного гумуса стала монография *"Органическое вещество почвы и процессы его трансформации"* (1980), которая является одновременно и наиболее полной сводкой основных достижений мировой почвенной науки в области изучения гумуса.

Мазаева Матрена Михайловна (1908–1992) изучила особенности магниевого питания растений: роль магния в растительном организме; функциональные нарушения, вызываемые недостатком этого элемента в питательной среде; действие магниевых удобрений на рост и развитие растений, величину и качество

урожая. Оригинально ею выполнены работы по изучению взаимозависимости магниевого и кальциевого питания растений. Обобщение этих работ послужило основой докторской диссертации: "*Магниевое питание растений и магниевые удобрения*", защищенной в 1967 г. М.М. Мазаевой предложен трилометрический метод определения кальция и магния при агрохимических исследованиях. Она одна из первых изучила влияние хлорсодержащих удобрений на различные сельскохозяйственные культуры. Под ее руководством проведены широкие исследования по определению содержания магния в почвах Российской Федерации и установлению потребности сельского хозяйства нашей страны в этом элементе. М.М. Мазаева установила критическое содержание магния в почве, при котором растения начинают уже испытывать недостаток этого элемента. По ее данным, для песчаных и супесчаных почв дерново-подзолистой зоны оно равно 7-8 мг/100 г, для почв более тяжелого гранулометрического состава – красноземов и субтропических подзолистых уровень критического содержания лежит в пределах 10-12 мг/100 г почвы. Важное значение имеют ее работы по сравнительной оценке различных магнийсодержащих соединений, на основании которых разработан перспективный ассортимент магниевых удобрений.

Неунылов Борис Александрович (1908–1994) – крупный ученый в области агрохимии и рисоводства, автор многих приемов возделывания риса и системы применения удобрений, широко внедренных в производство во многих районах мирового рисосеяния. Глубокие исследования окислительно-восстановительных процессов в почвах рисовых полей позволили ему выдвинуть общую концепцию об условиях почвенной среды, накопления элементов питания и поступления их в растения риса. Им впервые выявлено, что своеобразное сочетание и динамика окислительно-восстановительных процессов в системе: почва-корни риса-поверхностная почвенная пленка в затопленном рисовом поле, создают условия для перехода в подвижное состояние многих соединений химических элементов почвы и миграции ряда их к корням риса. Он показал возможность рационального использования энергетических ресурсов, заключенных в органическом веществе почвы, попадающих в нее растительных остатков и органических удобрений для усиления накопления доступных рису форм элементов питания и облегчения поступления их в растения. Б.А. Неуныловым были вскрыты физико-химические процессы, обеспечивающие благоприятные условия роста растений риса в сильно восстановленной залитой водой почве, показана положительная роль кислорода окислов и найдены пути ликвидации вредных последствий восстановления почвы. На основе этой концепции разработаны и внедрены в производство многие новые приемы обработки почв рисовых полей, внесения органических и минеральных удобрений и ухода за посевами риса. Теоретические разработки ученого в области окислительно-восстановительных процессов в почвах рисовых полей получили мировое признание и широко используются учеными, исследующими проблемы повышения плодородия почв и применения удобрений на рисовых полях. Б.А. Неунылов – автор фундаментальных монографий "*Повышение плодородия почв рисовых полей Дальнего Востока*" (1961), "*Почвенные условия при культуре риса*" (1971), которые стали настольными книгами для ученых и производителей.

Пономарева Вера Владимировна (1908–1978). Является ярко выраженным представителем биологического направления в почвоведении. В развитие этого направления она внесла большой вклад, обогатив его новым теоретическим содержанием.

В научной деятельности В.В. Пономаревой можно выделить два этапа: первый — довоенный, когда она в качестве ближайшего, деятельного и способного помощника И.В. Тюрина работала над методическими основами развития в СССР широких оригинальных исследований органического вещества почв, и второй — послевоенный, в течение которого В.В. Пономарева сформировалась как самостоятельный ученый и выполнила разносторонние оригинальные экспериментальные, теоретические и методические исследования. Особое внимание ею уделено изучению химической природы и свойств фульвокислот, а также их роли в почвенных процессах. Она впервые выделила фульвокислоты в свободном состоянии, что дало ей возможность прямого изучения их свойств и функций. Весьма высоко следует оценить ее работы по изучению реакций взаимодействия фульвокислот с главнейшими основаниями, встречающимися в почве: железом, алюминием, кальцием, магнием, натрием, аммонием. Также весьма плодотворны ее исследования по изучению разлагающего действия фульвокислот на силикаты.

В 1964 г. она обобщила и развила свои почвенно-биохимические и почвенно-генетические концепции в монографии "*Теория подзолообразовательного процесса*", которая получила широкую известность и была представлена ею в качестве докторской диссертации. В этой монографии впервые дан содержательный подробный критический обзор истории развития теории подзолообразовательного процесса в СССР и в зарубежных странах, детально освещены биохимические стороны этого процесса на основании, главным образом, личных исследований; убедительно выявлена роль растительности и гумусовых веществ в этом процессе; сформулирована оригинальная точка зрения по вопросу о природе оподзоливания, базирующаяся на представлении о дифференциальном осаждении гумусовых кислот и их солей в процессе миграции, воздействии агрессивных фульвокислот на минеральную часть почв с образованием подвижных комплексных и внутрикомплексных соединений полуторных окислов. В итоге предложена стройная биохимическая концепция подзолообразовательного процесса, раскрыты особенности его проявления в различных физико-географических условиях. Эти и другие положения завоевали широкое прочное признание научной общественности. В монографии В.В. Пономаревой нашли отражение также многие важные аспекты использования подзолистых почв в земледелии.

Зырин Николай Георгиевич (1909–1997). Под его руководством создано первое в стране учебное пособие "*Физико-химические методы исследования почв*", а в 1977 г. вышла его книга "*Спектральный анализ почв*".

Впервые он создает новое инструментальное направление в изучении состава, свойств и генезиса почв. Еще в 1938 г. им была собрана первая установка для рентгеноструктурного анализа глинистых минералов, в 1939 г в МГУ создана лаборатория физико-химических методов анализа, и на этой основе были изучены закономерности катионного обмена на почвенных минералах, а также изучены особенности строения некоторых гумусовых веществ. Результаты этих исследований вошли в монографии и учебные пособия. Н.Г. Зыриным уточнены и разработаны современные методы исследования почв, вошедшие в практику почвенно-агрохимических лабораторий: рентгеноструктурный, термический, спектральный, полярографический, фотокolorиметрический. Были разработаны проблемы активности ионов в почвах; результаты этих исследований получили в настоящее время широкое распространение и большое научное звучание.

Одним из первых в нашей стране Н.Г. Зырин начал заниматься проблемой микроэлементов в почвах. В течение ряда лет лаборатория химии почв МГУ остается центром методических исследований по определению микроэлементов в почвах, растениях; природных водах. Под его руководством и при личном участии проводились многочисленные почвенные экспедиции, в том числе экспедиции в труднодоступные районы Кавказа. Высокую оценку специалистов получили разработанные под руководством ученого вопросы оценки доступности микроэлементов растениям, о формах нахождения микроэлементов в почве, о сорбции их почвами. Эти работы были охвачены общей проблемой "Узловые вопросы учения о микроэлементах", за решение которой Н.Г. Зырину была присуждена ученая степень доктора биологических наук.

Н.Г. Зыриным составлены карты содержания микроэлементов в почвах Европейской части нашей страны. Эти карты позволяют выявить районы возможного дефицита микроэлементов для сельскохозяйственных растений, животных и человека и могут служить основой для рационального распределения микроудобрений по различным природным и административным районам.

Н.Г. Зырин одним из первых активно включился в решение проблем охраны почв и контроля за загрязнением их токсическими элементами. На кафедре химии почв под его руководством был проведен детальный анализ загрязнения почв тяжелыми металлами в результате техногенных выбросов в атмосферу. Получены оригинальные данные по общим механизмам воздействия промышленного объекта на загрязнение почв, растительности и почвенно-грунтовых вод тяжелыми металлами. Для уменьшения загрязнения почв рекомендована система мероприятий, включающая создание санитарно-защитной зоны (техническая и биологическая рекультивация). Разработана система пробоотбора почв, растений, поливных вод для контроля загрязнения окружающей среды и критерии оценки степени их загрязнения.

Синягин Ираклий Иванович (1911–1978) – автор современной концепции площади питания растений, изложенной в монографии "*Площади питания растений*", выдержавшей при жизни автора три издания. Он выдвинул новое направление в агрохимии – исследование эффективности удобрений в зависимости от сопутствующих агротехнических условий. Широкие исследования в этой области подытожены в его книге "*Агротехнические условия высокой эффективности удобрений*". И.И. Синягин внес серьезный вклад в разработку прогрессивной технологии применения удобрений; впервые исследовал изменения свойств почв в зональном разрезе под влиянием удобрений.

Гукова Мария Матвеевна (род. 1913 г.) – видный ученый-агрохимик Прянишниковской школы. Научно-педагогическая деятельность проходила в ведущих учебных заведениях страны – Тимирязевской сельскохозяйственной академии и Университете дружбы народов. Диссертационные работы М.М. Гуковой: кандидатская – "*Азотное питание растений*" (1944) и докторская – "*Особенности азотного питания бобовых культур*" (1974) внесли существенный вклад в развитие физиологии и агрохимии азотного питания растений. Она разработала методы диагностики минерального питания сои и риса. Автор учебного пособия "*Методика опытного дела в агрономии*" (1987) и соавтор учебника "*Агрономическая химия*" (1954).

Панников Виктор Дмитриевич (род. 1914 г.) провел сравнительные исследования черноземов и лесостепных почв, изучавшихся экспедициями В.В. Докучаева, и установил, что без применения минеральных удобрений содержание перегноя в почвах на пашне лесостепной зоны уменьшается, а

под листовыми лесами происходит его накопление. В докторской диссертации "*Генезис лесостепных почв*" (1954) он дал подробный анализ этих процессов, а также эволюции почв лесостепной зоны. В диссертации сформулированы методы повышения плодородия лесостепных почв и достижения на этой основе высоких и устойчивых урожаев. Им уделено особое внимание увеличению производства и применения промышленных туков, без чего трудно рассчитывать на устойчивость и высокий уровень земледелия в нашей стране. На основе богатого экспериментального материала В.Д. Панниковым был разработан комплекс агротехнических и агрохимических средств для повышения плодородия дерново-подзолистых, лесостепных почв и черноземов Нижегородской области. Возглавив Географическую сеть опытов с удобрениями (1963-1983 гг.), он провел значительную работу по решению проблемы расширенного воспроизводства плодородия и получения достаточно высоких и устойчивых урожаев. В.Д. Панников выполнил многочисленные исследования по установлению оптимальных параметров плодородия почв, в т. ч. почвенного поглощающего комплекса. Значительное место в его работах уделено роли и значению органического вещества в почве, особенно активному гумусу, его балансу в земледелии. В.Д. Панников вместе со своим учеником И.Н. Пантелеевым в серии опытов с пропашными культурами установили, что минеральные удобрения при внесении ленточным способом в 2-3 раза эффективнее, чем при внесении обычным разбросным способом. Он с достаточной полнотой сформулировал важный принцип, который крайне необходимо соблюдать при обеспечении экологически безопасной системы удобрения в хозяйствах – это непереносное следование в практической работе законам земледелия, теоретическим положениям агрохимии и всего комплекса агрономических наук, знание которых необходимо не только для осуществления мер по повышению продуктивности почв и рациональному использованию их богатств, но и для того, чтобы рационально использовать все виды энергии и с наибольшим экономическим эффектом эксплуатировать сельскохозяйственную технику, чтобы каждый внесенный центнер удобрений, каждый килограмм пестицида, использованный для защиты культурных растений, принесли максимальную прибавку урожаев и вместе с тем обеспечили бы защиту окружающей природной среды. В.Д. Панников – автор первого учебника по геологии для сельскохозяйственных вузов "*Основы геологии*" (1961), а также монографий: "*Почва, удобрение и урожай*" (1964), "*Почва, климат, удобрение и урожай*" (1977; 1987), "*Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья*" (1994), "*О высокой культуре земледелия и росте урожаев*" (2003).

Кореньков Дмитрий Александрович (1920–1995) – выдающийся представитель агрохимической науки России. В результате многолетних научных исследований он разработал ряд принципиально новых положений по обоснованию рационального экологически безопасного ассортимента минеральных удобрений и на этой основе – рекомендации по повышению их эффективности. Большое значение имеют фундаментальные исследования Д.А. Коренькова по изучению агрохимических особенностей превращения азота удобрений в системе почва-растение, выполненных с использованием стабильного изотопа азота ^{15}N . Эти исследования позволили выдвинуть ему новые теоретические положения по агрохимии разных форм азотных удобрений: твердых, жидких, длительно действующих. Они явились основой для рекомендаций по повышению эффективности азотных удобрений. Являясь

прекрасным методистом, Д.А. Кореньков на всех этапах своей научной деятельности уделял первостепенное внимание развитию новых методов исследований, использованию и совершенствованию современного приборного парка. Он выдвинул идею целесообразности использования в агрохимических исследованиях обедненных по ^{15}N азотных удобрений и экспериментально ее подтвердил, что дало возможность значительно расширить диапазон агрохимических исследований с меченым азотом. Д.А. Кореньков – автор фундаментальных монографий: "Агрохимия азотных удобрений" (1975), "Продуктивное использование минеральных удобрений" (1985), "Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений" (1999).

Воллейдт Лариса Петровна (1922–1999) разработала физиолого-агрохимические основы минерального питания озимой пшеницы. Установила влияние норм и соотношений азота и фосфора в питательной среде на поступление и распределение этих элементов в органах озимой пшеницы в онтогенезе в связи с процессами реутилизации и оттока. Провела глубокие исследования по изучению азотного, фосфорного и углеводного обменов в растениях в связи с применением удобрений. Установила корреляционную зависимость между составом фосфорных соединений в листьях озимой пшеницы в онтогенезе и урожаем зерна. Л.П. Воллейдт выполнила ряд оригинальных исследований по выяснению физиологической роли серы в жизнедеятельности растений. Являясь продолжительный период секретарем Диссертационного совета ВИУА, она принимала самое непосредственное участие в подготовке высококвалифицированных ученых-агрохимиков.

Смирнов Петр Михайлович (1922–1985) – видный ученый агрохимик Прянишникова школы. Основным направлением его исследований было изучение проблемы азота в земледелии, особенно азотных удобрений и путей повышения их эффективности. В результате проведенных исследований с использованием изотопа ^{15}N были детально изучены многие вопросы агрохимии азота: установлены коэффициенты использования азота основных форм азотных удобрений и размеры усвоения азота почвы различными сельскохозяйственными культурами, выяснены условия и факторы, способствующие более продуктивному использованию азота почвы и удобрений, показано значение известкования кислых почв и их окультуренности, орошения и применения некоторых микроудобрений. Оригинальные исследования проведены им по изучению превращения азота удобрений в почве, показаны размеры закрепления этого элемента в органической форме, состав закрепившегося азота и доступность его растениям в последствии, выяснены размеры и состав газообразных потерь из почвы при различных условиях, особенно факторы, способствующие уменьшению в составе выделяющихся газообразных продуктов закиси азота – наиболее опасного загрязнителя атмосферы, приводящего при его накоплении к разрушению озонового экрана Земли. П.М. Смирновым разработаны научные основы применения ингибиторов нитрификации для снижения непроизводительных потерь азота, повышения урожайности растений и улучшения качества урожая. Под его научно-методическим руководством проведены широкие производственные испытания ингибиторов нитрификации в различных почвенно-климатических зонах СССР. Результаты исследований по проблеме азота в земледелии и азотных удобрений им были обобщены в докторской диссертации (1970) и методическом пособии "Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N)". Значительные исследования проведены ученым с использованием ^{32}P по изучению

фосфатного питания растений в разных условиях и способов внесения суперфосфата под различные культуры, а также по изучению эффективности некоторых новых форм фосфорных удобрений, в частности, продуктов неполного разложения фосфоритов и их смесей с красным фосфором. Важное место в исследованиях П.М. Смирнова занимали вопросы эффективного использования удобрений для получения планируемых урожаев культур и системы их применения в севооборотах Нечерноземной зоны.

Гинзбург Клара Ефремовна (1923–1992). Крупный специалист по агрохимии почвенного фосфора. Она – автор ряда оригинальных теоретических работ по изучению роли первичных и вторичных минералов, гидратов полуторных окислов и гумусовых веществ в поглощении фосфора удобрениями, накоплении остаточного фосфора и его доступности растениям. Являлась руководителем фосфатной группы отдела агрохимии почв, проводившей работы по изучению форм фосфора в основных типах почв Союза, совершенствованию и сравнительной оценке методов определения усвояемых фосфатов в почве. В частности, разработаны и предложены методы определения валового фосфора в почвах, общего содержания органических и минеральных форм фосфора, фракционного состава минеральных фосфатов, растворимых фосфатов в лимоннокислой и аммонийно-молибдатной вытяжках из почв, емкости поглощения фосфатов почвами, фосфатный и фенолфталеиновый способ определения фосфатазной активности почв. Ряд методов выполнен на уровне изобретения, получены авторские свидетельства. Эти методы вошли во многие руководства и нашли широкое применение в практике анализа почв.

Среди опубликованных К.Е. Гинзбург научных работ особо следует отметить методические разработки и обобщение результатов собственных исследований и литературных данных: *"Формы фосфора в основных типах почв СССР по почвенно-климатическим районам"*, вошедшее в 16-й том региональной серии *"Агрохимическая характеристика почв СССР"* (1976). Представленные данные позволили более обоснованно характеризовать фосфатные фонды почв Союза и прогнозировать различную эффективность фосфорных удобрений.

Важным результатом творческой деятельности К.Е. Гинзбург явилась публикация монографии *"Фосфор основных типов почв СССР"* (1981), получившей широкую известность и ставшей уже библиографической редкостью. В теоретической части книги рассматриваются современные сведения об особенностях строения атома фосфора, его космическая и планетарная роль в окружающей среде, механизм взаимодействия фосфора с различными компонентами почв. На огромном фактическом материале показаны географические закономерности распределения запасов и форм фосфора в почвах по почвенно-климатическим зонам и почвенно-агрохимическим районам страны.

Болдырев Николай Константинович (1928–2000) разработал комплексные методы аналитической листовой (КМАЛД) и почвенной диагностики (КМАПД) условий питания зерновых, крупяных, зернобобовых, масличных, овощных культур и картофеля. Для этих культур им установлены оптимальный химический состав листьев и целых растений по фазам вегетации, показатели нормального содержания подвижных питательных веществ в почве, предложены совершенно новые и простые методы расчета доз основного удобрения и подкормок на запланированный урожай хорошего качества применительно к каждому полю и интенсивным технологиям возделывания сельскохозяйственных культур в богарном и орошаемом земледелии. Впервые в нашей стране Н.К. Болдыревым установлена закономерность связи между химическим со-

ставом зерна пшеницы с одной стороны, и содержанием, а также соотношением элементов питания в листьях в фазу цветения–начала формирования семян – с другой. Она явилась основой метода листовой диагностики качества урожая, позволяющего прогнозировать содержание общего азота и сырого белка в зерне за 1-1,5 месяца до уборки урожая, и в случае необходимости рекомендовать некорневую подкормку растений мочевиной и дозу азота в ней для доведения белковости зерна до стандарта сильной пшеницы.

Дерюгин Игорь Павлович (род. 1928 г.) – один из известных специалистов в области агрохимии калия и фосфора. Под его руководством и при непосредственном участии было положено начало систематическим исследованиям по системе применения удобрений и детальному изучению агрохимических свойств почв Удмуртии. На основе проведенных ученым исследований стало возможным прогнозировать потребность сельского хозяйства нашей страны в минеральных удобрениях и наиболее эффективно использовать их на дерново-подзолистых и серых лесных почвах. И.П. Дерюгиным разработаны подходы к агрохимическому обоснованию динамических систем применения удобрений в агроценозах Нечерноземной зоны России. Им совместно с В.В. Прокошевым предложен метод расчета норм калийных и фосфорных удобрений в полевых севооборотах на дерново-подзолистых и серых лесных почвах с использованием блока показателей в системе почва-растение-удобрение. И.П. Дерюгин автор уникальных книг: *"Агрохимические основы системы удобрений овощных и плодовых культур"* (1988), *"Калий и калийные удобрения"* (2000).

Орлов Дмитрий Сергеевич (род. 1928 г.). Является одним из ведущих специалистов по химии органического вещества почв и методам его исследования. Им детально изучены физико-химические свойства и молекулярные параметры гумусовых кислот зонально-генетического ряда почв, решен вопрос о молекулярных массах гуминовых и фульвокислот, идентифицированы их важнейшие структурные единицы. В результате предложена новая схема молекулярного строения гумусовых кислот, создана оригинальная кинетическая теория гумификации, которая позволяет дать прогноз изменения качественного состава гумуса при сельскохозяйственном освоении почв, их мелиорации, внесении удобрений. Д.С. Орловым опубликованы монографии *"Гумусовые кислоты почв"* (1974), *"Химия почв"* (1985), учебное пособие *"Практикум по химии гумуса"* (1969), обобщающий обзор *"Теоретические и прикладные проблемы химии гумусовых веществ"* (1978), *"Биогеохимия"* (2000). *"Гумусовые кислоты почв"* – первая монография в отечественной литературе о гумусовых кислотах. В научном творчестве Д.С. Орлова заметное место занимают труды по методам по исследованию органического вещества почвы. *"Практикум по биохимии гумуса"* – единственное комплексное руководство по определению содержания и запасов органического соединения углерода, состава и свойств гумусовых веществ и использованию результатов изучения гумуса для характеристики почв. Исследования Д.С. Орлова по проблеме химии органического вещества почв получили широкое признание как в нашей стране, так и за рубежом. Он внес значительный вклад в развитие отечественного почвоведения и агрохимии.

Чумаченко Иван Николаевич (1928–2003) разработал теорию химизма фосфора в различных почвах и дал агрохимическое и агроэкологическое обоснование освоению 20 местных месторождений фосфоритов. Работая по проблеме фосфора в орошаемом земледелии, И.Н. Чумаченко в 1956 г. защитил

диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук и возглавил тематику по проблеме фосфора в карбонатных почвах и эффективности применения фосфорных удобрений в орошаемых районах Средней Азии. В 1964 г. он защитил докторскую диссертацию на тему: "*Запасы фосфора в почвах и условия эффективного использования фосфорных удобрений под хлопчатник в орошаемых районах Средней Азии*". Важным теоретическим достижением этой работы является открытие закономерности, что в карбонатных почвах не происходит глубокого закрепления внесенных фосфатов, а механизм их поглощения в значительной мере сводится к обменно-анионному процессу. И.Н. Чумаченко провел широкомасштабные исследования по взаимодействию фосфорных удобрений с микроэлементами, созданию новых комплексных удобрений на базе фосфоритной муки и природных боратов, фосфоритной муки с добавлением солей различных макро- и микроэлементов, бишофита, лигнина. Ученый экспериментально показал возможность использования бентонитов, цеолитов, глауконитов и местных фосфоритов для питания растений и улучшения почв без химического воздействия. Он установил необходимость включения микроэлементов в систему удобрения сельскохозяйственных культур и разработал технологию их применения. И.Н. Чумаченко – автор более 10 оригинальных монографий. Одна из них – "*Агрохимия фосфора и нетрадиционного минерального сырья*" в 2001 г. отмечена дипломом РАСХН как лучшая завершенная научная работа года.

Потатуева Юлия Александровна (род. 1928 г.). Изучила ассортимент микроудобрений для земледелия Российской Федерации; обосновала необходимость включения микроэлементов в удобрения. Доказала пригодность труднорастворимых соединений микроэлементов, наряду с их техническими солями, для использования в качестве микроудобрений. Установила необходимое содержание микроэлементов в минеральных удобрениях. Выявила связь между количеством доступных растениям форм микроэлементов в почве и эффективностью микроудобрений. Установила возможность компенсации недостатка микроэлементов в почвах за счет их примесей в минеральных удобрениях, известковых материалах и фунгицидах. Предложила термин "Агрохимические показатели удобрений с добавками микроэлементов". Разработала оригинальный способ расчета потребности земледелия в микроэлементах. Возглавляя продолжительное время лабораторию микроэлементов на Долгопрудной агрохимической опытной станции НИУИФ и являясь членом Бюро Научного совета АН СССР по проблемам микроэлементов в биологии, она оказывала методическую помощь и координировала исследования по микроэлементам в нашей стране. Результаты многолетних исследований обобщены в докторской диссертации "*Агрохимическая эффективность и перспективы применения минеральных удобрений с микроэлементами*".

Державин Леонид Михайлович (род. 1929 г.). Известен как крупный ученый в области агрохимии по вопросам рационального, экологически безопасного применения удобрений, воспроизводства плодородия почв, научного и информационного обеспечения сельского хозяйства. В период работы директором ЦИНАО Л.М. Державин являлся научным руководителем исследований по вопросам агрохимического обслуживания сельского хозяйства в СССР и координатором совместных исследований стран-членов СЭВ. Участвовал в разработке нормативной базы химизации земледелия, научно-методических основ рационального, экологически безопасного интегрированного применения удобрений, в разработке вопросов повышения плодородия

дия почв, совершенствования автоматизированных систем управления агрохимическим обслуживанием сельского хозяйства и опытной работы с удобрениями агрохимической службы. Автор монографии "*Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии*" (1992).

Ефимов Виктор Никифорович (род. 1929 г.). Внес значительный вклад в решение фундаментальных и прикладных проблем агрохимии. При исследовании связи между количеством и качеством гумуса дерново-подзолистых почв он показал, что трансформация почвенных запасов азота зависит не только от количества гумуса, но и от его качественного состава. При изучении вопросов баланса и трансформации азота удобрений по ^{15}N на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности и мелиорированных торфяных почвах В.Н. Ефимов выявил роль почвенного азота и азота удобрений в формировании урожая сельскохозяйственных культур, разработал способы регулирования азотного режима осушенных торфяных почв. Установил роль гумуса, глинистых минералов, гидрооксидов алюминия и железа в сорбции фосфора. Им выявлена диспропорция между высоким содержанием подвижных фосфатов и урожайностью сельскохозяйственных культур на почвах, подвергшихся зафосфачиванию. В.Н. Ефимов провел ряд исследований по изучению калийного режима почв, выявлению действия и последствий калийных удобрений. Участвовал в создании и испытании новых видов комплексных удобрений, содержащих макро-, мезо- и микроэлементы; в разработке технических условий на использование активных илов и гидролизного лингина в качестве почвенных мелиорантов и удобрений. Автор популярного учебника "*Система удобрений*" (2003).

Ладонин Вадим Феопентович (род. 1930 г.). Научные работы ученого известны как в России, так и за рубежом. Его по праву считают пионером в области разработки теоретических аспектов механизма и природы действия гербицидов различных классов, закономерностей их поведения в растениях при различной чувствительности к ним, а также в почве. Им установлены новые, ранее неизвестные закономерности взаимодействия удобрений с гербицидами при комплексном, совместном или последовательном применении. Заслуживают особого внимания работы В.Ф. Ладонина, посвященные выявлению синергетического эффекта при совместном применении ряда гербицидов и азотных удобрений. На основании оригинальных исследований им впервые были сделаны предположения о возможности 50 %-ного сокращения норм внесения препаратов типа 2,4-Д в смеси с азотными удобрениями, что имеет большое экономическое и экологическое значение. Широко известны работы ученого по изучению влияния средств химизации на азотный обмен растений. Впервые им установлен факт существенного перераспределения соединений азота между органами растений под влиянием гербицидов, что в значительной мере объясняет причины гибели чувствительных к ним растений.

Ягодин Борис Алексеевич (1930–2003) является создателем целостного учения о сбалансированном питании растений микро- и макроэлементами для получения запрограммированных урожаев. Им проведены исследования, посвященные изучению роли кобальта в жизни растений, его влиянию на активность нитратредуктазы в листьях и клубеньках бобовых растений, участию кобальта в формировании пиррольных соединений. Б.А. Ягодину принадлежит приоритет в определении содержащего кобальт витамина B_{12} в тканях высших растений. Впервые в мире им установлено и объяснено явление кобальтового хлороза, сопровождающегося глубокими изменениями белко-

вого состава проростков, нарушением биосинтеза группы высокомолекулярных белков, образующих хлорофилл-белковые комплексы, торможением биосинтеза хлорофилла. В оригинальных работах, касающихся биологической фиксации атмосферного азота, ученым доказана значимость кобальта, не входящего в состав нитрогеназы, в процессе симбиотической азотфиксации. Изучение индуцированных кобальтом изменений метаболизма в клубеньках позволило Б.А. Ягодину сформулировать вывод о возможной регулирующей роли высшего растения в биосинтезе леггемоглобина в клубеньках, при этом была установлена гетерогенность леггемоглобина и его видовая специфичность. Результаты этих исследований обобщены в монографии "*Кобальт в жизни растений*" (1970).

Научная деятельность Б.А. Ягодина охватывает самые разнообразные аспекты азотного питания и азотного метаболизма растений, но центральное место в этих фундаментальных исследованиях отводится вопросам о влиянии микроэлементов на усвоение растениями этого элемента. На основании анализа многочисленного экспериментального материала ученый формулирует важное положение о том, что в условиях постоянно возрастающих норм азотных удобрений следует обращать серьезное внимание на использование микроэлементов, участвующих в редукции нитратов и в других процессах усвоения азота растениями, с целью повышения эффективности азота удобрений и снижения опасности накопления нитратов в сельскохозяйственной продукции, загрязнения ими водных ресурсов. Б.А. Ягодин обращал внимание на то, что недооценка регулирующей роли микроэлементов в общефизиологическом отношении может иметь неблагоприятные последствия для почвенного плодородия и внести диспропорцию в пищевой режим растений. Большое внимание он уделял получению продукции заданного элементного состава. Им разработано новое направление агрохимической науки – "агрогеохимия", предметом изучения которой является взаимодействие не только растений, почвы и удобрения, но и учет геохимических свойств естественной среды, возможностей патогенных изменений у растительных и животных организмов. В серии оригинальных работ, посвященных биологической фиксации атмосферного азота, он показал участие в этом процессе кобальта. Один из авторов учебника "*Агрохимия*" (1982; 1989; 2002). В издании 2002 г. Б.А. Ягодин впервые включил раздел "Экологическая агрохимия" и дал определение: "Экологическая агрохимия – наука о расширенном, постоянно увеличивающемся круговороте веществ в агроценозах, изучающая на элементарном, молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биосферном уровнях химические взаимодействия растений с почвой и окружающей средой в целом".

Минеев Василий Григорьевич (род. 1931 г.) – внес основополагающий вклад в разработку теории и практики питания растений и применения удобрений в современных направлениях мирового земледелия, методологию агрохимических исследований. В.Г. Минеев определил с точки зрения науки место агрохимических средств в повышении плодородия почв, продуктивности земледелия, научно-техническом прогрессе сельскохозяйственного производства. Свои первые научные исследования он посвятил озимой пшенице – важнейшей культуре центральной и южной России. Своими работами, начиная с докторской диссертации: "*Система удобрения озимой пшеницы в Центрально-Черноземной зоне*" (1967), ученый внес существенный вклад в решение зерновой проблемы в нашей стране. Изучение динамики содержания

подвижных форм питательных веществ в почве в зависимости от предшественников, удобрения, способов вспашки, времени подкормки озимой пшеницы, а также исследование важнейших биохимических показателей в растениях в период вегетации, играющих существенную роль в формировании качества зерна, позволили ему научно разработать систему рационального использования удобрений в звене "предшественник–озимая пшеница" с целью получения высоких урожаев зерна пшеницы высокого качества в условиях Центрально-Черноземной зоны. Результаты этих исследований были обобщены в монографиях: "Удобрение озимой пшеницы" (1973), "Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы" (1981), "Почва, климат, удобрение и урожай" (1977; 1987).

В.Г. Минеев первым обратил внимание на то, что применение агрохимических средств – это активное вмешательство человека в живую природу, а поэтому указывает на необходимость учета их комплексного воздействия на условия существования живых организмов в окружающей среде. Он автор учебника "Агрохимия" (1990; 2004) и фундаментальных научных трудов "Агрохимия и биосфера" (1984), "Химизация земледелия и природная среда" (1990), "Агрохимия, биология и экология почвы" (1990), "Биологическое земледелие" (1993), "Агрохимия и экологические функции калия" (1999), "Экологические проблемы агрохимии" (1988), "История и состояние агрохимии на рубеже XXI века" (2004).

Милащенко Николай Захарович (род. 1932 г.). Выполнил цикл научных работ по совершенствованию технологии возделывания зерновых культур для условий Западной Сибири. Подготовил Генеральную схему защиты почв от эрозии в Омской области, которая взята за основу для других областей Западной Сибири. Разработал научные принципы и методы управления плодородием почвы и продукционным процессом агроценозов на основе оптимизации минерального питания растений и фитосанитарного состояния посевов при комплексном использовании удобрений, пестицидов и агротехнических приемов в агротехнологиях. В период работы директором Всероссийского НИИ удобрений и агропочвоведения Н.З. Милащенко осуществлял научно-организационное руководство программой исследований в Географической сети длительных стационарных опытов с удобрениями, в которой задействовано значительное число отраслевых, зональных НИУ и вузов, расположенных во всех сельскохозяйственных зонах Российской Федерации.

Шильников Игорь Александрович (род. 1932 г.). Внес значительный вклад в теорию и практику известкования почв. Оказал существенное влияние на решение таких вопросов как периодичность известкования, требования к качеству известковых удобрений, агроэкологическая оценка известкосодержащих отходов промышленности, сроки и способы внесения извести, баланс кальция и магния в земледелии, методологические подходы к определению потребности в известковании выщелоченных и оподзоленных черноземов. Решение этих вопросов позволило научно обосновать потребность нашей страны в известковых удобрениях и разработать нормативы и регламенты технологии проведения известкования почв. Автор уникальной монографии "Известкование почв" (1987).

Постников Анатолий Васильевич (род. 1933 г.). С именем ученого связаны все главнейшие события в науке и практике химизации сельского хозяйства России – от организации агрохимической службы, разработки и внедрения в практику сельскохозяйственного производства новых видов удобрений и рациональных приемов их применения – до разработки сложнейших про-

блем круговорота и баланса питательных веществ в системе почва-удобрение-растение. Он является одним из авторов методики изучения баланса биогенных элементов в земледелии. Впервые им определен баланс азота, фосфора и калия в земледелии России. Ученым введены принципиально новые понятия в агрохимии – "продуктивное действие удобрений" и "активный баланс питательных веществ", которые существенно изменяют представление об эффективности использования действующего вещества удобрений для создания урожая и сохранения плодородия почв.

Алексахин Рудольф Михайлович (род. 1936 г.). Внес большой вклад в развитие сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии. Под его руководством и при непосредственном участии выполнен большой объем научно-исследовательской и научно-координационной работы по актуальным проблемам сельскохозяйственной радиологии. Р.М. Алексахин принял активное участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в сельском хозяйстве, возглавив первую экспедицию в зону аварии. Он является разработчиком рекомендаций по ведению сельского хозяйства на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях. Автор уникальной монографии *"Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах"* (1977).

Гамзиков Геннадий Павлович (род. 1938 г.). Установил специфические особенности внутрпочвенного цикла азота в автоморфных почвах Сибири, что позволило впервые количественно описать отдельные потоки круговорота азота в агроценозах основных природных зон Западной и Восточной Сибири. Особое внимание уделено выявлению направленности и интенсивности трансформации и балансу азота в системе почва-растение-удобрение. Созданная Г.П. Гамзиковым аналитическая база данных позволяет описывать и экспертно прогнозировать процессы превращения азота почв и удобрений в почвенно-климатических зонах региона. Большую практическую значимость имеют разработки ученого в области развития теории и практики почвенной диагностики азотного питания растений, основанные на превалирующей роли нитратного азота в формировании урожая сельскохозяйственных культур на сезонно мерзлотных и мерзлотных почвах Сибири. Практическое использование метода, основанного на аналоговом принципе, обеспечивает устойчивое получение рентабельной и экологически безопасной растениеводческой продукции. При участии Г.П. Гамзикова разработаны системы применения удобрений под основные полевые культуры и создан банк данных по балансу элементов питания в сельскохозяйственных регионах Сибири. Автор фундаментальных монографий *"Азот в земледелии Западной Сибири"* (1971), *"Баланс и превращение азота удобрений"* (1985).

Войтович Николай Васильевич (род. 1939 г.). Научная деятельность связана с агрохимией и земледелием: способы регулирования и моделирования основных параметров плодородия почв Нечерноземной зоны Российской Федерации и методы химического воздействия на урожай и качество сельскохозяйственных культур в связи с применением удобрений, мелиорантов, пестицидов; круговорот биогенных элементов в системе почва-растение-удобрение в рамках доступных экологических пределов; сортовая агротехника сельскохозяйственных культур. Автор уникальных монографий *"Плодородие почв Нечерноземной зоны и его моделирование"* (1997), *"Фосфориты России и ближнего Зарубежья"* (2005).

3. ХИМИЧЕСКИЙ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

Для решения практических задач, связанных с получением возможно большего количества нужных организму человека и животных химических соединений, необходимо знание химического состава растений и умение им управлять. Агрохимик рассматривает химический состав растений не только как объект познания (чем занимаются биохимики и физиологи растений), но и как предмет воздействия на него.

Н. М. Городний, 1990

В состав растений входят органические и минеральные вещества. Органические соединения представлены в основном белками, жирами, крахмалом, сахарами, клетчаткой и пектиновыми веществами. Их содержание в растениях, прежде всего, зависит от биологических свойств культуры и сорта, возраста, условий питания, водообеспеченности, температуры и освещения. По количеству органических веществ в растении оценивается качество урожая. Качество урожая зерновых культур определяют, прежде всего, по содержанию белков и крахмала, хлебопекарные свойства – по количеству клейковины в зерне. Бобовые культуры оценивают по величине накопления белка, а масличные – по содержанию жиров в семенах. Качество клубней картофеля устанавливают по содержанию крахмала, а корнеплодов сахарной свеклы – сахарозы. Качество урожая прядильных культур зависит от количества целлюлозы: чем больше ее содержится в растениях, тем больше волокна. В то же время высокое содержание клетчатки в сене ухудшает его кормовые свойства. В питании человека и животных огромную роль играют и такие органические вещества, как витамины, пектиновые соединения, которыми богаты овощи, фрукты и ягоды. Так, например, каротина больше содержит морковь и перец сладкий, витамина С (аскорбиновой кислоты) – перец сладкий, петрушка листовая и смородина черная. Витамином В₉ (фолиевой кислотой) богаты шпинат, петрушка листовая, соя.

Углеводы, жиры и другие безазотистые органические вещества построены из трех элементов – кислорода, углерода и водорода, а в состав белков и других азотистых соединений входит еще и азот. На долю углерода, кислорода, водорода и азота приходится 95 % сухой массы растений. Эти четыре элемента называются органогенными. При сжигании растений органогенные элементы улетучиваются в виде газообразных соединений и паров воды, в золе остаются зольные элементы преимущественно в виде оксидов, на долю которых приходится около 5 % массы сухого вещества.

К неорганическим веществам, входящим в состав растения, относятся вода, соли, кислоты и щелочи.

3.1. Вода

3.1.1. Содержание и формы воды в растениях

Вода составляет около 75 % биомассы Земли, однако ее содержание в разных видах живых организмов, различных их тканях и органах колеблется в широких пределах. Так, пасока деревьев содержат 88–99 % воды, в то время как в древе-

сине растений ее значительно меньше – 20–45 %, а в зерне злаковых – 12–14 %. Чем моложе организм или орган, тем выше в нем содержание воды. В молодых листьях растений оно колеблется в пределах 85–90 %, а в старых – 70–80 %. Большую часть воды в растениях составляет внутриклеточная вода; меньшую – внеклеточная вода.

В клетке вода представляет собой сложную гетерогенную систему, состоящую из: 1) жидкой фазы; 2) гидратно-связанной; 3) гидрофобно-стабилизированной (в мембранах); 4) пространственно-стабилизированной (в капиллярных промежутках).

Вода в растении существует в форме *конституционной*, т. е. химически связанной, *гидратационной*, *резервной*, заполняющей водосборные полости в вакуолях и других клеточных компартментах, и в форме *интерстициальной*, т.е. межклеточной. В растениях она находится как в свободном, так и связанном состоянии (рис. 4; Бронштейн Л.М., 1986). **Свободной** называют воду, сохранившую все или почти все свои свойства чистой воды. Свободная вода легко передвигается, вступает в различные биохимические реакции, испаряется в процессе транспирации и замерзает при температурах ниже 0°C. **Связанная** вода имеет измененные физические свойства, главным образом вследствие взаимодействия с неводными компонентами.



Рис. 4. Формы воды в растениях

Воду, гидратирующую белки и другие коллоидные частицы, называют **коллоидно-связанной**, а минеральные соли, сахара, органические кислоты, – **осмотически-связанной**.

Коллоидно- и осмотически-связанная вода, образующая оболочки вокруг коллоидов или ионов, получила название **гидратационной**. Количество гидратационной воды зависит от объекта и его физиологического состояния и составляет 20–50 % от сухой массы.

Если в водном растворе содержатся ионы какого-либо электролита, то вокруг них ориентируются диполи воды. К катионам диполи воды притягиваются своими отрицательно заряженными концами, к анионам – положительно заряженными. Такое связывание воды называется **электростатической гидратацией**. Аналогичным образом гидратируются высокомолекулярные соединения, если они содержат полярные аминогруппы, карбоксильные, альдегидные или спиртовые ионогенные группировки. При этом гидратная оболочка может быть сплошной или исключительно лишь вокруг полярных групп. Степень гидратации различных ионов и молекул зависит от размеров частиц и величины их заряда. Чем выше удельная плотность заряда, т. е. чем больше заряд и меньше размеры, тем сильнее степень гидратации. Молекулы

воды располагаются при гидратации тремя слоями: 1) непосредственно около иона, строго упорядочены и ориентированы сильным электрополем; 2) на некотором отдалении от иона, ориентированность молекул воды меньшая; 3) далеко от иона, молекулы воды с обычной структурой.

Благодаря гидратации ионов и молекул, часть воды в растениях находится в связанном состоянии. Водородные связи макромолекул также удерживают определенную часть молекул воды. Вокруг молекул белка, как правило, слой строго структурированной воды достигает толщины 1–2 нм и составляет до 30 % массы гидратированной белковой молекулы. Следующий слой гидратационной воды – до 10 нм, и вода еще продолжает сохранять в нем некоторую ориентацию. Кроме того, вода входит в третичную структуру ряда макромолекул и надмолекулярных структур. Помимо того, что вода связана непосредственно на молекулярном уровне, она входит и в состав субклеточных образований: рибосом, лизосом, мембран митохондрий, эндоплазматического ретикулума, ядерной оболочки. Воду, связанную субклеточными образованиями, называют **иммобильной водой**.

Самой распространенной классификацией форм связи воды следует признать классификацию, предложенную П.А. Ребиндером, в основу которой положен энергетический принцип. Согласно этой классификации, вода в растениях присутствует в следующих формах: 1) **химически связанная вода**, входящая в состав молекул в строго определенных соотношениях. Удалить такую воду из растительных тканей можно лишь прокаливанием или химическим воздействием. Следует заметить, что при этом происходит разрушение структуры включающих ее веществ; 2) **физико-химически связанная вода** входит в состав биомассы в различных, не в строго определенных соотношениях. К этой форме связи относится адсорбционно-связанная, осмотически поглощенная и структурная вода. Сорбированная гидрофильными коллоидами молекула воды теряет свойство растворителя и не участвует в химических реакциях, поэтому этот вид воды принято называть **связанной**. Она прочно связана с коллоидами, в первую очередь с белками клеток, и может переходить в легко обмениваемую воду только после их разрушения. В биомассе, которая содержит исключительно такую воду, физиологические процессы максимально заторможены. Связанная вода не замерзает при охлаждении и, следовательно, не плавится при прогреве вещества; 3) **механически связанная вода** сосредоточена в микро- и макрокапиллярах клеточных стенок. Ее легко можно удалить из растений высушиванием или в некоторых случаях вымораживанием.

Воду, которую можно удалить из растений интенсивным высушиванием (105–130°C) с доведением их массы до постоянной величины, называют **гигроскопической**. Этот вид включает в себя всю свободную и почти всю физически связанную воду. Она легко может переходить из клеток во внеклеточные пространства. На долю свободной воды приходится подавляющая часть всей ее массы, находящейся в растениях.

Уровень увлажнения, при котором в растительных тканях появляется свободная вода, называют **критической влажностью**. При такой влажности существенно возрастает интенсивность дыхания растений.

По удельному содержанию в растительном организме связанная вода составляет всего лишь 1/5 часть общего содержания воды. В протоплазме 12–15 % воды находится в связанном виде, а 85–88 % – в свободном. В цитоплазматических структурах это соотношение может быть несколько иным.

3.1.2. Строение молекулы воды

Общие запасы воды на Земле составляют 1385984610 км^3 . Но не в связи с огромным количеством, а исключительно в силу аномальных характеристик соединения водорода с кислородом (H_2O) выделено в самостоятельную земную оболочку. По образному выражению Фалеса (625–547 гг. до н. э.), – основоположника милетской философской школы, вода является основой всего, в том числе и жизни.

Для молекулы воды характерны s - p -связи, образованные s -орбиталью атомов водорода (шаровая симметрия) и p -орбиталями атома кислорода (гантелеобразная форма облаков). Наибольшее перекрытие облаков связующих электронов происходит в направлении оси "гантели". Их отрицательно заряженные облака должны бы расположиться под прямым углом друг к другу. Однако на взаимодействие двух p -облаков налагается еще взаимное отталкивание двух s -облаков водородных атомов (стерическое препятствие). В результате между направлениями валентных связей в молекуле воды образуется угол не 90° , а, как оказывается, $104,5^\circ$. Кроме того, возникновение общих s - p -облаков несколько видоизменяет и форму p -гантелей; их конец направленный в сторону s -облака, несколько удлиняется, а другой конец соответственно укорачивается (рис. 5; Кульман А.Г., 1979).

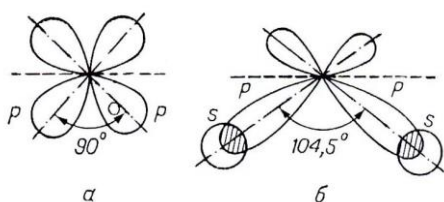


Рис. 5. Строение молекулы воды
 а – два p -облака образуют угол 90° ; б – расположение облаков s - и p -электронов в молекуле H_2O (образование σ -связей из s - и p -орбиталей)

В молекуле воды имеются две полярные связи О–Н (рис. 6; Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Прудникова Т.Н. и др., 2003). Электроны, образующие эти связи, смещены к более электроотри-

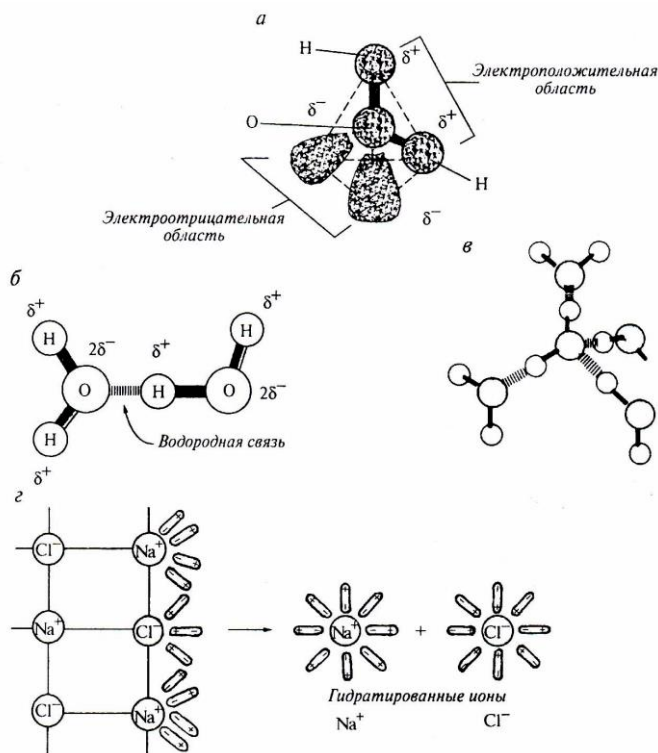


Рис. 6. Полярные свойства молекул воды

а – распределение зарядов в молекуле воды; б – образование водородной связи между молекулами воды; в – структура кластера из пяти молекул воды; г – распределение молекул воды вокруг ионов при растворении NaCl

цательному кислороду, в результате чего атомы водорода приобретают положительные заряды. Неподделенные электронные пары, находящиеся на гибридных sp^2 -орбиталях, смещены относительно ядра атома кислорода и создают два отрицательных полюса. Таким образом, в молекуле воды имеются четыре заряда: два отрицательных, обусловленных избытком электронной плотности в местах расположения неподделенных пар электронов, и два положительных, создаваемых ее недостатком в местах нахождения протонов водорода. Электрическая поляризация молекулы воды усиливается тем, что Н и О расположены не в одну линию Н—О—Н, а под углом $104,5^\circ$, образуя равнобедренный треугольник. При этом расстояние О—Н равно $0,099$ нм, Н—Н – $0,152$ нм, радиус молекулы – $0,138$ нм, энергия связи О—Н – 110 ккал. моль $^{-1}$.

Важной особенностью воды является способность ее молекул объединяться в структурные агрегаты за счет образования водородных связей между разноименно заряженными атомами. Образующие ассоциаты состоят из нескольких молекул воды, поэтому формулу воды правильнее было бы записать как $(H_2O)_n$, где $n=2, 3, 4, 5$. Водородные связи имеют исключительно важное значение при формировании структур биополимеров, надмолекулярных комплексов, в метаболизме.

Водородная связь – это взаимодействие атома водорода с более электроотрицательным атомом, имеющее частично донорно-акцепторный, частично электростатический характер. Энергия водородной связи занимает промежуточное положение между энергией ковалентных связей ($200\text{--}400$ кДж/моль) и ионных химических связей и слабыми вандерваальсовыми взаимодействиями, находясь в пределах $12\text{--}30$ кДж/моль. Водородные связи непрерывно возникают и разрушаются. Время полужизни каждой из них не превышает $1 \cdot 10^{-9}$ с. Однако благодаря своей многочисленности водородные связи обеспечивают устойчивость жидкой воды

3.1.3. Физические и химические свойства воды

Физические свойства. Вода имеет молекулярную массу, равную $18,02$, и может существовать в трех состояниях – жидком, газообразном и твердом, характеризующихся следующими показателями фазовых переходов:

Точка при $101,3$ кПа (1 атм), $^\circ\text{C}$	
замерзания (плавления)	$0,00$
кипения	$100,00$
Тройная точка	
температура, $^\circ\text{C}$	$0,0099$
давление, Па (мм рт.ст.)	$610,4$ ($4,579$)
Теплота, кДж/моль (ккал/моль)	
плавления при 0°C	$6,01$ ($1,435$)
парообразования при 100°C	$40,63$ ($9,704$)
сублимация при 0°C	$50,91$ ($12,16$)

Как видно из этих данных, для воды характерны высокая температура кипения и плавления, высокое значение фазовых переходов – плавления, парообразования, сублимации*. Хорошая теплопроводность и большая теплоемкость воды обеспечивают живым организмам сохранение жизненных функций при резких изменениях температуры окружающей среды.

На рисунке 7 приведена в схематической форме диаграмма состояния воды (Кобелева И.Б., Траубенберг С.Е., 2003). Любой точке на диаграмме отвечают определенные значения температуры и давления.

Диаграмма показывает те состояния воды, которые термодинамически устойчивы при определенных значениях температуры и давления. Она состоит из трех кривых, разграничивающих все возможные температуры и давления на три области, отвечающие льду, жидкости и пару.

Кривая ОА представляет зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры: точки кривой показывают те значения температуры и давления, при которых жидкая вода и водяной пар находятся в равновесии друг с другом. Кривая ОА называется кривой равновесия жидкость–пар или кривой кипения.

Кривая ОС – кривая равновесия твердое состояние–жидкость, или кривая плавления, – показывает те значения температуры и давления, при которых лед и жидкая вода находятся в равновесии.

Кривая ОВ – кривая равновесия твердое состояние–пар, или кривая сублимации. Ей отвечают те пары значений температуры и давления, при которых в равновесии находятся лед и водяной пар.

* Сублимация – переход вещества при нагревании из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое состояние.

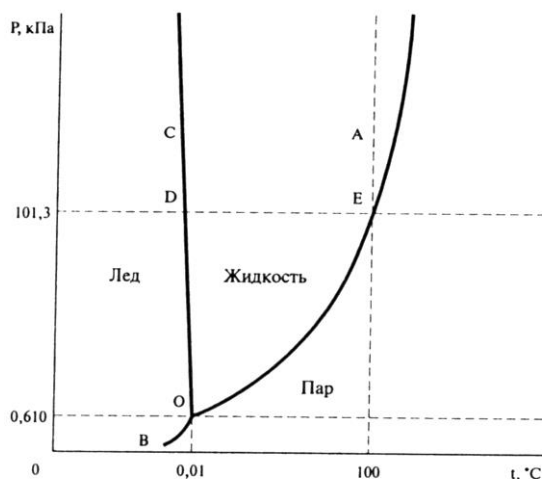


Рис. 7. Диаграмма состояния воды в области невысоких давлений

Все три кривые пересекаются в точке О. Координаты этой точки – это единственная пара значений температуры и давления, при которых в равновесии могут находиться все три фазы: лед, жидкая вода и пар. Она носит название **тройной точки**, т.е. точка в осях координат давление–температура, в которой пересекаются кривые испарения, сублимации и плавления льда.

Одной из особенностей воды, отличающих ее от других веществ, является понижение температуры плавления льда с ростом давления. Это обстоятельство отражается на диаграмме. Кривая плавления ОС на диаграмме состояния воды идет вверх влево, тогда как почти для всех других веществ она идет вверх вправо. Превращения, происходящие с водой при атмосферном давлении, отражаются на диаграмме точками или отрезками, расположенными на горизонтали, проходящей через точку 101,3 кПа (760 мм рт.ст.). Так, плавление льда или кристаллизация воды соответствует точке D, кипение воды – точке E, нагревание или охлаждение воды – отрезку DE.

Плотность (ρ) – физическая величина, определяемая массой вещества в единице объема. Плотность воды при переходе ее из твердого состояния в жидкое возрастает. При нагревании воды от 0 до 4°C плотность ее также увеличивается.

Наибольшую плотность (0,999973 кг/м³) и наименьший объем вода имеет при температуре 4°C. При 0°C и давлении в 1 атм вода имеет плотность 0,999841 кг/м³, при 25°C – 0,9977047 кг/м³. Благодаря этому с наступлением морозов поверхностный слой воды, охлажденный до 4°C, как более тяжелый опускается на дно водоема, вытесняя более теплые и легкие слои на поверхность. В дальнейшем, когда весь водоем охладится до 4°C, будет охлаждаться только поверхностный слой, который, как более легкий, будет оставаться на поверхности водоема. Лед легче воды, и он будет оставаться на поверхности водоема. Он покрывает толщу воды как бы одеялом и тем самым служит хорошей защитой водоема от промерзания, так как обладает малой теплопроводностью. В зимнее время это способствует сохранению жизни в водоемах, расположенных в средних и высоких широтах. При положительных температурах, находясь на поверхности, лед тает быстрее. Слои воды, температура которой ниже 4°C, поднимаются вверх, обуславливая перемешивание воды в водоемах. Вместе с водой циркулируют и содержащиеся в ней питательные вещества, благодаря чему водоемы заселяются живыми организмами на большую глубину. С увеличением давления температура замерзания воды понижается через каждые 130 атм на 1°C. Поэтому на больших глубинах при минусовых температурах вода в океане не замерзает.

Температура кипения и замерзания. Для того чтобы заставить молекулы воды двигаться со скоростью, достаточной для разрыва водородных связей, которыми они соединены, требуется затратить значительное количество тепловой энергии. При давлении 1 атм точка кипения воды находится при 100°C. Температура кипения воды возрастает с увеличением давления, а температура замерзания – падает. Достигнув температуры кипения, жидкая вода превращается в пар, в котором каждая молекула уже не связана ни с какой другой. К счастью для живых организмов, температуры на поверхности Земли редко достигают точки кипения воды.

Для жизни было бы идеально, если температура замерзания (0°C), была несколько выше, поскольку живые организмы вынуждены существовать при температурах, при которых вода замерзает.

Испарение – переход вещества из жидкого или твердого агрегатного состояния в газообразное – пар. Обычно под испарением понимают переход жидкости в пар, происходящий на ее свободной поверхности. Благодаря высокому значению удельной энтальпии* испарения ($\Delta H_{\text{КДП}}=40,683 \text{ кДж/моль}$ при 373°K) большая часть солнечной энергии, достигшей Земли, расходуется на испарение воды, тем самым, препятствуя перегреву ее поверхности. При конденсации паров воды в атмосфере происходит выделение этой энергии, которая может переходить в кинетическую энергию компонентов атмосферы, вызывая ураганные ветры. Испарение воды предотвращает перегрев живых организмов. Поскольку на испарение воды расходуется много тепла, молекулы, достигшие "скорости убегания" и переходящие из воды в воздух, уносят с собой значительное количество тепловой энергии. Живые организмы используют это свойство воды для охлаждения тел.

Теплопроводность – это мера способности теплоты распространяться по данному веществу. В живом организме непрерывно происходят реакции, сопровождающиеся выделением тепла. Благодаря высокой теплопроводности воды это тепло равномерно распределяется по всей воде, содержащейся в организме; тем самым устраняется риск возникновения локальных "горячих точек", которые могли бы послужить причиной повреждения каких-либо тонких структур.

Теплота плавления. Скрытая теплота плавления (или относительная скрытая теплота плавления) есть мера тепловой энергии, необходимой для расплавления твердого вещества (в данном случае льда). Скрытая теплота плавления льда очень высока – около 335 Дж/г (для железа – 25, для серы – 40). Благодаря высокой теплоте плавления на Земле сглаживаются сезонные переходы: весну и осень в средних и высоких широтах можно рассматривать как сезон фазовых переходов воды. Сравнительно легко нагреваясь или охлаждаясь до 0°C , вода, снег и лед для перехода в другое агрегатное состояние требуют значительного расхода энергии, поэтому эти переходы обычно растягиваются во времени. Следует отметить, например, что при замерзании 1 м^3 воды выделяется столько же тепла, сколько при сжигании примерно 10 кг угля. Это свойство воды уменьшает вероятность замерзания содержимого клеток и окружающей их жидкости. Кристаллы льда особенно губительны для живого, когда они образуются внутри клеток.

Удельной теплоемкостью воды называют количество теплоты в джоулях, которое необходимо, чтобы повысить температуру 1 кг воды на 1°C . Величина теплоемкости воды в 5–30 раз выше, чем у других веществ. Лишь водород и аммиак обладают большей теплоемкостью. Кроме того, у воды и ртути удельная теплоемкость с повышением температуры от 0° до 35°C падает (затем начинает возрастать). Удельная теплоемкость воды при 16°C условно принята за единицу и служит эталоном для других веществ. Поскольку теплоемкость песка в 5 раз меньше, чем воды, то при одинаковом нагреве солнцем вода в водоеме нагревается в 5 раз слабее, чем песок на берегу, но во столько же раз она дольше сохраняет теплоту. Благодаря огромной теплоемкости воды океаны сглаживают колебания температуры, и перепад температур от экватора до полюса в Мировом океане составляет всего 30°K .

Поверхностное натяжение (когезия) и адгезия. Поверхностное натяжение воды обуславливается когезией, т. е. тем, что ее молекулы сцеплены между собой посредством водородных связей. Воду можно налить в стакан "с верхом", и она не прольется. Клопы-водомерки бегают по воде, как по твердой поверхности. Подобные "фокусы" возможны благодаря поверхностному натяжению воды, из-за которого ее поверхность как бы покрыта "кожицей". Аномально высокое поверхностное натяжение воды ($Q=71,9 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ при 298°K) приводит к появлению ряби и волн на водной поверхности уже при слабом ветре. В результате этого резко возрастает площадь водной поверхности и интенсифицируются процессы теплообмена между атмосферой и гидросферой. Вода обладает также свойством адгезии, т. е. прилипания, которое обнаруживается при ее подъеме против гравитационных сил. В капиллярах сочетаются силы сцепления молекул воды в пограничном с воздухом слое и ее адгезии с материалом стенок капилляра. В результате в капилляре образуется вогнутая поверхность воды выше ее исходного уровня. Благодаря капиллярным силам вода способна подниматься на высоту до 10–12 м от уровня грунтовых вод.

Химические свойства. Одним из важнейших химических свойств воды является способность ее молекул диссоциировать, т. е. распадаться на ионы, а также колоссальная способность растворять вещества различной химической природы.

Ионизация. Поскольку в молекуле воды электроны прочнее связаны с атомом кислорода, происходит отщепление протонов. В результате наблюдается диссоциация молекул воды на ионы водорода (H^+) и гидроксид-ионы (OH^-). Нужно заметить, что степень диссоциации молекул воды на ионы в обычных условиях весьма незначительна: распадается одна молекула из полу-

* Энтальпия – это сумма внутренней энергии газа и работы, произведенной газом при его изобарическом расширении до занимаемого объема.

миллиарда. Причем, в водной среде не может существовать лишенный электронной оболочки протон H^+ , он мгновенно соединяется с молекулой воды, образуя ион гидроксония H_3O^+ :



Принципиально возможно, что ассоциаты водных молекул распадаются на весьма тяжелые ионы, такие как: $8H_2O \rightarrow H_9O_4^+ + H_7O_4^-$, а реакция $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ – всего лишь схематическое общее изображение более сложных реакций. При температуре $25^\circ C$ концентрация водородных или гидроксильных ионов в дистиллированной воде составляет $1 \cdot 10^{-7}$ моль/л, что соответствует pH 7.

Вода как растворитель. Роль воды как главного и универсального растворителя определяется, прежде всего, полярностью ее молекул и, как следствие, ее чрезвычайно высокой диэлектрической проницаемостью, равной 78,3 при температуре $298^\circ K$. Разноименные электрические заряды, и в частности ионы, притягиваются друг к другу в воде в 80 раз слабее, чем это происходило бы в воздухе. Тепловому движению в этом случае легче разобщить молекулы. Оттого и происходит растворение, в том числе многих труднорастворимых веществ: не зря говорят: "Вода камень точит". Растворение кристаллов неорганических солей осуществляется благодаря гидратации входящих в их состав ионов. Хорошо растворяются в воде органические вещества с карбоксильными, гидроксильными, карбонильными и другими группами, с которыми вода образует водородные связи. Когда вещество переходит в раствор, его молекулы или ионы получают возможность двигаться более свободно и, соответственно, его реакционная способность возрастает. По этой причине в клетке большая часть химических реакций протекает в водных растворах. Неполярные вещества, например липиды, не смешиваются с водой и поэтому могут разделять водные растворы на отдельные компартменты*, подобно тому, как их разделяют мембраны. Неполярные части молекул отталкиваются водой и в ее присутствии притягиваются друг к другу, как это бывает, например, когда капельки масла сливаются в более крупные капли; иначе говоря, неполярные молекулы гидрофобны**. Подобные гидрофобные взаимодействия играют важную роль в обеспечении стабильности мембран, а также многих белковых молекул, нуклеиновых кислот и других субклеточных структур.

3.1.4. Роль воды в растительном организме

Среди всех необходимых условий для жизнедеятельности растений главное место принадлежит воде: ни один из других экологических факторов не определяет в такой мере возможность существования и распространения растений. Едва ли можно найти такое место на земном шаре, где постоянно было бы настолько жарко или холодно, светло или темно или так неблагоприятен состав подпочвы, чтобы никакой растительный организм не смог бы развиваться при наличии воды в количестве, достаточном для проявления его жизнедеятельности.

Вода является неотъемлемой частью всех без исключения живых систем. Она составляет единую неразделимую систему со всеми структурными компонентами протоплазмы. Биологическая роль воды обусловлена ее физико-химическими свойствами. Вода является внутриклеточной средой, в которой протекают все биохимические реакции, составляющие сущность жизни. Макромолекулы белков, нуклеиновых кислот, мембраны клеток могут сохранять свою структуру и функциональную активность только при наличии водородных связей с водным матриксом. Большая теплоемкость воды защищает растения от резкого повышения температуры, а высокая температура парообразования способствует терморегуляции растений. Благодаря этому биохимические процессы протекают в меньшем интервале температур с более постоянной скоростью и опасность нарушения процессов терморегуляции от резких отклонений температур не столь значительна. Вода служит для многих клеток и организмов средой обитания, для которой характерно относительное постоянство условий. Высокое поверхностное натяжение воды определяет ее передвижение по капиллярам, обуславливает процесс адсорбции ферментов на мембранах клетки и ее органоидов,

* Компартменты – участки, отсеки.

** Гидрофобность – свойство веществ слабо взаимодействовать с водой, т. е. не смачиваться.

а также ионов при их адсорбции из внешней среды и десорбции в цитоплазму. Кроме того, вода может непосредственно участвовать в биохимических реакциях и как исходное вещество, и как продукт реакции. Она принимает участие в гидролитических процессах и дыхании растений, а также в электрон-транспортных процессах при фотосинтезе, поскольку ион OH^- является непосредственным донором электрона, поступающего, в конечном счете, на электронную вакансию окислительного центра, возникающего после возбуждения хлорофилла. Вода служит растворителем и средством транспортировки ассимилянтов и питательных веществ. Она поддерживает протоплазму в сбалансированном, благоприятном с химической и физической точек зрения состоянии тургесцентности, благодаря чему сохраняется активность обмена веществ в ходе невообразимо огромного числа биохимических реакций. Определенная степень тургесцентности имеет существенное значение для растяжения клеток, открывания устьиц*, поддержания форм у травянистых растений, ориентации органов в пространстве. Пронизывая все тело растений, вода создает в нем непрерывную фазу и осуществляет координацию деятельности органов растений. Важное значение вода имеет и в эволюционном процессе. Роль ее для живых организмов находит свое отражение, в частности в том факте, что одним из главных условий естественного отбора, влияющего на видообразование, является недостаток воды.

Чтобы вода могла выполнять свои функции, все части растения должны быть в достаточной степени оводнены. Степень оводненности клеток, тканей и органов растений определяется *относительным содержанием воды* (ОСВ).

$$\text{ОСВ} = \frac{M_{\text{сыр}} - M_{\text{сух}}}{M_{\text{сыр.нас}} - M_{\text{сух}}} \cdot 100,$$

где: $M_{\text{сыр}}$ и $M_{\text{сух}}$ – соответственно сырая и сухая масса ткани;
 $M_{\text{сыр.нас}}$ – сырая масса ткани в состоянии полного насыщения водой.

Все наземные организмы приспособлены к тому, чтобы добывать и сберегать воду. В экологическом плане вода уникальна и незаменима как источник газообразного кислорода, выделяемого в процессе фотосинтеза.

Продуктивность растений в значительной мере зависит от водного баланса, границы которого генетически определены и закреплены у различных видов и даже сортов растений. Вследствие высокой транспирации растения потребляют значительно большее количество воды, чем ее содержится в них. Для количественного выражения используют транспирационный коэффициент – количество воды (в г), испаряемой растениями при накоплении им 1 г сухого вещества. Транспирационный коэффициент заметно колеблется у одного и того же растения в зависимости от условий окружающей среды (табл. 1; Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Столяров А.И. и др., 2004). Все же в некоторой степени он может служить показателем потребности растений в воде.

Хорошая обеспеченность растений элементами минерального питания уменьшает коэффициент транспирации в зависимости от влажности почвы на 15–30 %. Снижением водопотребления можно значительно повысить продуктивное использование удобрений и поднять уровень урожая. Коэффициент

* Устьице – микроскопическое отверстие в эпидермисе чаще всего хлорофиллоносных органов растений, соединяющее межклетники органа с наружной средой, образованные двумя замыкающими клетками, оболочки которых специфически и неравномерно утолщены, что способствует открыванию и закрыванию устьиц.

Таблица 1 – Коэффициент транспирации растений

Культура	Коэффициент транспирации	Культура	Коэффициент транспирации
Кукуруза	180–400	Ячмень	370–520
Овес	440–880	Пшеница	350–650
Рис	300–550	Картофель	330–640
Сахарная свекла	300–420	Капуста кочанная	450–550
Огурец	655–750	Клевер красный	500–760
Конские бобы	600–800	Горох	600–800
Рапс	600–800	Гречиха	400–600
Сорго	300–400	Просо	350–450
Фасоль	600–850	Соя	550–900

транспирации используют для определения возможного урожая, если известны запасы влаги в почве, количество выпадающих осадков и их долевое участие в обеспечении растений водой.

3.1.5. Классификация растений по их отношению к воде

В зависимости от способа регулирования водного режима наземные растения делятся на две группы: 1) пойкилогидридные и 2) гомеогидридные (гомойогидридные).

Пойкилогидридные растения не обладают способностью самостоятельно, т. е. активно, регулировать свой водный режим. У листьев этих растений практически нет устьиц, плохо развиты пограничные защитные ткани, их транспирация эквивалентна простому испарению и содержание воды в клетках находится в равновесии с давлением паров в окружающем воздухе. Типичными представителями этой группы являются многие наземные водоросли, грибы, лишайники, некоторые мхи и папоротникообразные.

Гомеогидридные растения осуществляют эффективную регуляцию процесса водоотдачи своего организма с помощью устьичного аппарата листьев. Благодаря защищенности внутренних клеток и тканей водонепроницаемыми покровами и сворачиванию листьев, растительные организмы поддерживают оводненность тканей в пределах постоянного и необходимого уровня. Относительная устойчивость оводненности представляет собой результат сбалансированности процессов отдачи и поглощения воды в количествах, обеспечивающих потребность растений. Основная масса ныне существующих растений относится к гомеогидридному типу. Они населяют территории с разной напряженностью водного фактора, обладая при этом рядом структурных своеобразных приспособительных особенностей как на клеточном, так и организменном уровне.

В процессе жизнедеятельности растения потребляют огромное количество воды. Они частично используют ее для синтеза биомассы своих тел, а большую часть выделяют в окружающую среду. Подсчитано, что 1 га посевов кукурузы за вегетационный период потребляет около 3 млн. 600 тыс. л воды. На синтез фитомассы используется ничтожная часть ее – всего 0,5–1 %. Остальная вода испаряется, т. е. поступает обратно в окружающую среду.

Потребность в воде разных видов растений неодинакова. По характеру потребности в воде их подразделяют на четыре группы: гидрофиты, гигрофиты, мезофиты и ксерофиты.

Гидрофиты – растения, обитающие в водной среде. Их тела частично или полностью погружены в воду. В связи со спецификой условий существования главной структурной особенностью листьев гидрофитов является наличие крупных межклетников и полостей, образующих особую воздухоносную ткань – аэренхиму, которая обеспечивает плавучесть органов. Вегетативные органы подводных гидрофитов отличаются от надводных тонкими рассеченными листьями и отсутствием в них кутикулы* и функционирующих устьиц. Для этих растений характерны слабое развитие проводящих и механических тканей, редукция корневых волосков, низкий осмотический потенциал клеток и гетерофиллия – различие строения надводных и подводных листьев на одной и той же особи.

* Кутикула – тонкая наружная пленка, покрывающая с наружной стороны эпидермис листьев и стеблей.

Гидрофиты подразделяются на следующие подгруппы: 1) плавающие на поверхности, т. е. контактирующие с двумя средами – водой и воздухом; 2) погруженные – "взвешенные" в воде, контактирующие только с водной средой; 3) погруженные укореняющиеся, т. е. находящиеся одновременно в воде и почве; 4) плавающие на поверхности, укореняющиеся и контактирующие с тремя средами – водой, почвой и воздухом; 5) амфибийные виды, т. е. гелофиты, постоянно занимающие мелководные береговые и прибрежные местообитания. Стебли и листья у них обычно довольно высоко возвышаются над поверхностью воды.

Гигрофиты – растения влажных местообитаний, характеризующихся большим количеством осадков и постоянно высокой относительной влажностью воздуха. Само название "гигрофиты" подчеркивает их произрастание в воздухе, насыщенном парами воды. Гигрофиты – экологически разнородная группа растений, на строение которых оказывают влияние не только высокая влажность воздуха и почвы, но также температура и освещенность среды их обитания. В связи с этим гигрофиты делят на теневые и световые. **Теневые гигрофиты** произрастают во влажных тенистых тропических и темнохвойных лесах зоны умеренного климата. **Световые гигрофиты** обитают на открытых хорошо освещенных местах с избыточным увлажнением почвы и достаточно высокой, хотя и подверженной колебаниям, влажностью воздуха. Чаще всего они растут по берегам водоемов, в дельтах рек, в местах выхода грунтовых вод.

Общие для всех гигрофитов анатомические особенности состоят в наличии во всех их органах мощной системы воздухоносных межклетников и большой обводненности клеток. У растений, принадлежащих к этой экологической группе, корни расположены в поверхностных слоях почвы, слабо ветвятся, имеют незначительное количество или совсем не имеют корневых волосков. Листья гигрофитов обычно имеют крупные пластинки. Их эпидерма ** состоит из тонкостенных клеток, участвующих в фотосинтезе. Мезофилл *** немногослойный, преимущественно губчатый. У некоторых растений развит и столбчатый мезофилл, но в нем, как и в губчатом, много межклетников. Устьица, расположенные на нижней стороне листовой пластинки, многочисленны, они всегда открыты, и транспирация у этих растений почти равна физическому испарению. Из-за слабой устьичной регуляции, листья гигрофитов быстро увядают при понижении влажности. Многие представители этой экологической группы растений имеют **гигаторы** – устьица, приспособленные для пассивного выделения листьями капельножидкой воды (гуттация) при очень высокой влажности воздуха. У световых гигрофитов листовые пластинки плотнее и толще, чем у теневых, эпидерма состоит из более толстостенных клеток, кутикула лучше развита.

Особую группу гигрофитов составляют некоторые хвои и ситники, у которых листья редуцированы, а функции фотосинтеза выполняют стебли.

Мезофиты – растения, приспособленные к жизни в условиях достаточного, но не избыточного увлажнения. По потребности во влаге они занимают промежуточное положение между гидрофитами и ксерофитами. Это наиболее обширная по видовому составу экологическая группа, включающая деревья, кустарники, луговые и лесные травянистые виды, сорняки и культурные растения, эфемеры и эфемероиды.

Выделяют следующие подгруппы мезофитов:

1) **вечнозеленые мезофиты тропических лесов** – деревья и кустарники, вегетирующие круглый год, без резко выраженного сезонного ритма. Растения обладают крупными расчлененными и пониклыми листьями с толстой кутикулой, что способствует их сохранности в условиях частых дождей;

2) **зимнезеленые древесные мезофиты** – растения тропической зоны, но континентальных ее частей, где уже выражена смена сухих и влажных периодов, вызывающих листопад в сухой летний период;

3) **летнезеленые древесные мезофиты** – представители лесной зоны умеренного пояса с теплым летом и холодной зимой, которую растения переносят в состоянии покоя с предшествующим опаданием листьев. Характеризуются хорошо развитыми покровными тканями и защитой почек от потери воды;

4) **летнезеленые травянистые многолетние мезофиты** – растения лесов умеренной зоны, лугов и северных степей, наземные органы которых, за исключением защитных почек, обычно отмирают на зиму.

Типичные мезофиты имеют хорошо развитую корневую систему. Проводящие и механические ткани у этих растений находятся обычно в оптимальных соотношениях, обеспечивая

** Эпидерма (эпидермис) – наружная покровная ткань растений, состоящая большей частью из одного слоя клеток и выполняющая защитную функцию, а также функцию газообмена.

*** Мезофилл – основная хлорофиллоносная паренхима листовой пластинки, заключенная между эпидермальными слоями

нормальный транспорт веществ и прочность вегетативных органов. Мезофилл может быть однородным или дифференцированным на столбчатый и губчатый. Листья мезофитов в зависимости от освещенности приобретают световую или теневую структуру. Эти растения очень пластичны, и в разных по влажности местообитаниях в их строении проявляются черты либо гигрофитов, либо ксерофитов.

Эфемеры – однолетние растения с коротким (30-50 дней), обычно весенним периодом развития. Они характерны для пустынь, полупустынь и сухих степей.

Эфемероиды – многолетние травянистые растения с коротким, обычно весенним, периодом развития. Эфемероиды засушливых степей и пустынь вегетируют и цветут только весной или только осенью (в период дождей), а в остальное время года сохраняются в виде луковиц и клубней.

Для эфемероидов типично отсутствие "классических" признаков ксероморфоза, но их семена способны переносить сильное высыхание и высокие температуры окружающей среды. Благодаря низкой плотности листьев интенсивность фотосинтеза у них высокая и поэтому в течение короткого влажного периода эти растения способны быстро накапливать ассимилянты.

Однако не все ученые согласны с отнесением пустынных эфемеров и эфемероидов к группе мезофитов и считают их ксерофитами в широком понимании, поскольку эти виды, несмотря на преобладание у них черт мезоморфного строения, все же отличаются от мезофитов хотя бы высокой интенсивностью транспирации и чрезвычайно большой сухо- и жаростойкостью семян.

Ксерофиты – растения сухих местообитаний, способные переживать продолжительные периоды сухости почвы и воздуха. Они типичны для пустынь, сухих степей, саванн и субтропиков, испытывающих недостаток осадков в течение продолжительных периодов времени. Способность ксерофитов переносить неблагоприятные условия увлажнения связана со специфическими анатомо-морфологическими признаками и физиологическими особенностями. Приспособления такого рода объединяют в три категории: а) ограничивающие испарение, б) усиливающие поглощение воды при ее недостатке в почве, в) позволяющие создавать запасы воды на время длительного перерыва в водоснабжении.

Сокращение внеустьичной непродуктивной транспирации достигается частичной редукцией листьев, развитием толстой кутикулы и многочисленных волосков, углублением устьиц, свертыванием листьев устьичной стороной внутрь, увеличением количества склеренхимных элементов. Повышенная способность многих ксерофитов добывать воду связана со специфическими особенностями их корневых систем. Так, в зависимости от экологической ситуации одни растения формируют глубокую малоразветвленную систему корней, достигающих водоносных горизонтов или их капиллярной каймы. У других – корневая система густо пронизывает значительный объем почвы, у третьих – корневая система поверхностного типа, которая способна наиболее эффективно и быстро обеспечивать водой надземные части растения в периоды относительно скудных осадков и резервировать ее на бездождевой период. Помимо указанных анатомо-морфологических особенностей, для ксерофитов характерно и физиологическое своеобразие, проявляющееся, прежде всего, в высоких значениях их осмотического потенциала, с которым тесно связаны повышенная оводненность вегетативных органов и сосущая сила. По особенностям ксероморфных признаков ксерофиты подразделяются на склерофиты и суккуленты.

Склерофиты – засухоустойчивые растения с жесткими листьями, имеющими толстую кутикулу и очень развитые механические ткани. Склерификация выражается не только в развитии мощных участков механической ткани – склеренхимы, что приводит к уменьшению межклеточных полостей и общей внутренней поверхности испарения, но и в уменьшении размеров клеток. Степень склерификации различна в отдельных тканях и органах: склеренхима может окружать пучки, подстилать эпидермис, образовывать крупные массивы среди клеток основной паренхимы. Общая склерификация ксерофитов часто сопровождается сильной редукцией и видоизменением листьев и побегов: от твердых колючих зубцов края листа до полного превращения листа или всего побега в колючку. Листья многих кустарников, обитающих в местах с сухим и жарким летом, или не доразвиваются, или опадают рано весной. При этом функции фотосинтеза принимают на себя стебли либо видоизмененные органы – филлокладин, филлодии, кладодии. Листья многих ксерофильных растений имеют моторные клетки для свертывания при недостатке влаги. Жесткие листья склерофитов, покрытые толстой кутикулой, способны без особого вреда терять до 25 % содержащейся в ней воды, сохраняя при этом тургорное состояние. В клетках этих растений преобладает связанная вода; сосущая сила корней – до нескольких десятков атмосфер, что позволяет им успешно добывать воду из почвы.

Склерофиты подразделяются на три группы: эуксерофиты, гемиксерофиты и пойкилоксерофиты.

Эуксерофиты характеризуются пониженной транспирацией, особенно в часы наибольшей сухости воздуха, что позволяет им благополучно переносить обезвоживание и перегрев. Корневая система у них неглубокая, сильно разветвленная. Растения этой группы обычно густо опушены.

Гемиксерофиты существуют в засушливых условиях благодаря развитой мощной корневой системе, обеспечивающей бесперебойное водоснабжение и интенсивную транспирацию. Такие растения жаростойки, однако длительного обезвоживания не выносят.

Пойкилоксерофиты практически не имеют возможности регулировать свой водный режим. Большинство лишайников, сапрофитные дереворазрушающие грибы, степные мхи и водоросли в сухую и жаркую погоду высыхают до воздушно-сухого состояния, однако после выпадения осадков возобновляют активную деятельность.

Суккуленты – сочные мясистые растения с сильно развитой водозапасающей тканью, обитающие в сухих районах и переносящие неблагоприятный сухой период за счет запасов воды, накапливаемых в этих тканях. Листья суккулентов имеют мало устьиц. Днем они обычно закрыты, и вода удаляется из растения непосредственно через основные клетки эпидермы. Различают листовые и стеблевые суккуленты. У стеблевых суккулентов листья редуцированы (кактусы, некоторые виды молочая, стапелии). Функции фотосинтеза у таких растений выполняет стебель, под эпидермой которого расположена хлоренхима. Большую часть стебля у растений этой экологической группы составляет водозапасающая паренхима. Листовые суккуленты запасают воду в толстых и сочных листьях. Эпидерма у этих растений покрыта толстой кутикулой и восковым налетом. Мезофилл слабо или совсем не дифференцирован на столбчатую и губчатую ткани. Внутренняя часть листа состоит из бесцветных тонкостенных клеток, содержащих воду и слизь. Мелкие многочисленные проводящие пучки располагаются под наружной, хлорофиллоносной зоной, но нередко и в бесцветной внутренней ткани.

В качестве особых подразделений в группу ксерофитов включают специфические экологические типы растений, которые испытывают недостаток как влаги, так и минеральных солей в субстрате, что сопряжено с действием низких температур. К таковым относятся психрофиты и криофиты.

Психрофиты – растения, произрастающие на влажных и холодных почвах. Несмотря на недостаточное увлажнение субстратов, эти растения часто испытывают недостаток влаги в результате физиологической сухости, вызванной низкими температурами и недоступностью для корней воды холодных почв. Психрофитам присуща ярко выраженная ксероморфная структура, в том числе склерификация листьев, и одновременно они обладают некоторыми чертами гигроморфной организации.

Криофиты – холодолюбивые растения, нормально развивающиеся при относительно низких температурах. Они в экологическом отношении близки к психрофитам, отличаются от них произрастанием в холодных, но сухих местообитаниях – сухих участках тундр, каменистых грядках и осыпях, в том числе высокогорных холодных пустынях, где резкие контрасты суточных температур, чрезмерная инсоляция и сильные ветры формируют подушковидные формы растений.

3.1.6. Влияние удобрений на водный режим растений

Минеральные соли оказывают различное влияние на состояние воды и водообмен растений. Свободные ионы в клетке вступают во взаимодействие с молекулами воды в процессе гидратации. При этом в клеточном соке ионы одних солей подавляют подвижность ближайших молекул воды, других – усиливают их трансляционное движение. Большинство ионов биогенных элементов обладают положительной гидратацией. Считается также, что один и тот же ион может способствовать упорядочению и разупорядочению структуры воды. Это определяется условиями среды, прежде всего температурой и природой сопутствующих катионов. В подвижности молекул воды немалую роль играет соотношение свободных, положительно и отрицательно заряженных ионов минеральных солей.

Свободные ионы минеральных солей способствуют также регулированию осмотического давления клеточного сока, которое лежит в основе многих процессов метаболизма растений, в том числе и поступления воды в корневую систему. Особую роль при этом играет калий, ионы которого в клетках обладают высокой подвижностью.

Элементы минерального питания, активно участвуя в образовании различных метаболитов, имеют большое значение в водном обмене растений. Среди них наиболее распространенными в растениях являются: белки, ферменты, нуклеиновые кислоты, аминокислоты, липоиды и углеводы. Биопо-

лимеры оказывают на подвижность молекул воды большее влияние, чем ионы минеральных солей. Влияние рассматриваемых веществ на водообмен растений определяется количественным содержанием, особенностями структурного строения, наличием в их составе гидрофильных и гидрофобных групп, активно участвующих в обмене веществ. В свою очередь, на образование тех или иных конформаций макромолекул, которые играют существенную роль в трансляционном движении молекул воды, оказывают влияние условия внешней среды.

Наиболее высокое содержание белков в листьях отмечается в ювенильном возрасте. Затем по мере развития растений уровень содержания рассматриваемых биополимеров снижается. Это объясняется интенсивным накоплением биомассы, возможным возникновением катаболических процессов при стрессовых условиях, реутилизацией азота в образующиеся репродуктивные органы.

Растения при благоприятных условиях минерального питания более экономно расходуют воду. Это связано с усилением водоудерживающей способности листьев, ослаблением подвижности молекул воды, повышением интенсивности фотосинтетических процессов у растений и снижением эвапотранспирации.

Повышенные нормы органического удобрения способствуют существенному увеличению вегетативной массы растений, а, следовательно, и повышению расхода воды из почвы на транспирацию. Но вместе с тем коэффициент водопотребления из расчета на хозяйственно ценную часть урожая от улучшения условий минерального питания снижается, что объясняется более интенсивной фотосинтетической деятельностью удобренных растений.

Улучшение условий азотного питания при достаточном водообеспечении сопровождается повышением содержания в растениях биополимеров. При благоприятных условиях азотного питания происходит интенсивное накопление биополимеров и осмотически активных веществ, что способствует повышению оводненности тканей и органов, но не всегда коррелирует с водоудерживающей способностью растений.

При поступлении в корневую систему фосфат-иона во многих случаях проявляется его синергизм по отношению к азоту и калию, что способствует образованию биополимеров и осмотически активных веществ в растениях. Фосфорная недостаточность отрицательно сказывается на процессах фотосинтеза и дыхания растений, может привести к нарушению электронного транспорта и процесса фосфорилирования. Изменения в энергетическом обмене возможны также в результате структурных нарушений в клетках в связи с торможением образования фосфорсодержащих органических соединений, составляющих основу клеточных структур.

Уровень калийного питания играет существенную роль в водном режиме растений. Калий является основным внутриклеточным катионом, участвующим в осморегуляции клетки. Больше всего этого элемента содержится в молодых тканях и органах растений, что коррелирует с их оводненностью, так как рассматриваемый ион усиливает гидрофильность коллоидов цитоплазмы и органелл клетки. Достаточное обеспечение растений калием способствует повышению оводненности и водоудерживающей способности листьев, ослабляет дневной водный дефицит растений, особенно при высокой физиологически активной радиации.

Калий способствует утилизации аммиачного азота и, таким образом, позволяет избежать ингибирования ростовых процессов из-за накопления в клетках аммиака. Обеспечение растений этим элементом дает необходимый

импульс для ускорения превращения углеводов, которые непосредственно связывают аммиак с образованием аминокислот и белков. Известно также, что метаболизм NO_3^- , усвоение которого растениями невозможно без редукции, идущей как в корнях, так и в листьях, в значительной степени зависит от соотношения в клетке катионов, в том числе и наиболее лабильного калия. Кроме того, ион калия оказывает существенное влияние на метаболизм фосфора в растениях. Он катализирует реакции переноса фосфатных остатков, осуществляемые ферментами на АДФ с образованием АТФ. Недостаточное калийное питание отрицательно сказывается на энергетическом балансе растительного организма.

Калий регулирует процессы поступления в растения биогенных элементов, активирует ферментные процессы фотосинтеза, дыхания, образования белков, углеводов, жиров, а также водный обмен растений. Ион калия поддерживает ферменты и метаболиты в диссоциированном состоянии. Под действием этого элемента скорость ферментативного катализа может существенно повышаться. Калий активирует более сорока ферментных реакций, в частности, необходим для образования АТФ, нитратредуктазы, пируваткиназы, КоА-синтетазы, информационной РНК и других важнейших органических соединений. Недостаток этого элемента сопровождается распадом митохондрий и затруднением фиксации CO_2 в процессе фотосинтеза, торможением полимеризации моноз в полисахариды. Присутствие калия в растении усиливает процесс гидрофильности биокolloидов клетки и повышает ее вододерживающую способность. Высокая оводненность клеток способствует устойчивости протоплазмных структур, проницаемости мембран. Решающая роль в изменении тургора и объема замыкающих клеток принадлежит именно калию и сопровождающим анионам. При открытии устьиц K^+ перемещается из прилегающих клеток в замыкающие. Установлена прямая зависимость между концентрацией калия в замыкающих клетках и размером устьичной щели. Калий повышает устойчивость растений против засоления почвы и различных стрессов, вызываемых засухой, заморозками и неблагоприятными условиями зимнего периода. При этом усиливаются стойкость клеточных структур и действие механизмов их репарации, обеспечивается восстановление функций растительного организма. Ион калия способствует усилению фотосинтеза и миграции ассимилятов в корневую систему, таким образом, корни проникают в глубокие горизонты почвы и легче добывают воду. Достаточное содержание калия стимулирует утолщение клеточных стенок, что препятствует полеганию растений, внедрению в ткани и развитию возбудителей болезней, а также повышает продуктивность растений.

3.2. Минеральные вещества

В составе растений обнаружены практически все химические элементы периодической системы Д.И. Менделеева. Между тем для нормального прохождения жизненного цикла им необходимо лишь 17 из них: С, Н, О, N, P, K, Si, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Co, Zn, Cu, Mo. Среди этих элементов только 14 являются собственно минеральными, а С, Н и О поступают в растения преимущественно в виде CO_2 , O_2 , H_2O . Около 99 % массы растений приходится на водород, углерод, кислород, азот и лишь 1 % – занимают другие элементы. На долю углерода приходится – 50–60 % водорода – 3–4, кислорода – 25–30, азота – 9–10 % сухого вещества. В то же время в земной коре на долю углерода, водорода и азота приходится лишь около 1 %. Помимо перечисленных 17 элементов от-

дельные культуры положительно относятся на внесение Al, Na, Cl, F, W, I, Li. Эти элементы принято называть *условно необходимыми*, поскольку их "необходимость" для всех растений экспериментально окончательно не установлена.

Все элементы, входящие в группу "необходимых", физиологически незаменимы, а их функции в растениях строго специфичны. Недостаток любого из них приводит к глубокому нарушению обмена веществ и физиолого-биохимических процессов у растений, ухудшению их роста и развития, снижению продуктивности и качества урожая. При остром дефиците элементов этой группы у растений появляются характерные признаки голодания. Между тем, количественные потребности растений в том или ином элементе резко различаются. Все химические элементы, встречающиеся в растениях разделены на шесть групп: 1) макроэлементы, 2) мезоэлементы, 3) микроэлементы, 4) ультрамикроэлементы, 5) инертные элементы, 6) техногенные элементы (табл. 2; Шеуджен А.Х., 2003).

Таблица 2 – Физиолого-агрохимическая классификация химических элементов

Группа	Элементы
Макроэлементы: органогены зольные	H O C N P K Si
Мезоэлементы	S Ca Mg Fe Na Al Cl
Микроэлементы	B Mn Co Cu Mo Zn V I Se
Ультрамикроэлементы	Ba Be Br Bi W Gd Ga Hf Ge Ho Dy Eu Au In Ir Yb Y Cd La Li Lu As Nd Ni Nb Sn Os Pd Pt Pr Ra Re Rh Hg Rb Ru Sm Pb Ag Sc Sr Sb Tl Ta Te Tb Ti Th Tm U F Cr Cs Ce Zr Er
Инертные элементы	He Ne Ar Kr Xe Rn
Техногенные элементы	Ac Am At Bk Cf Ku(Db) Cm Lr Md Np Ns(Jl) No Pu Po Pm Pa Tc Fm Fr Es

Элементы, содержащиеся в сухой массе растений в количестве, превышающем 0,1%, относятся к *макроэлементам*, 0,1–0,01 – *мезоэлементам*, 0,01–0,0001 – *микроэлементам*, меньше 0,0001% – *ультрамикроэлементам*. **Инертные элементы** – химические элементы, образующие главную подгруппу VIII-й группы периодической системы Д.И. Менделеева. Возможность их поступления в растения экспериментально доказана, однако физиологические функции еще не выявлены. **Техногенные элементы** – элементы, не обнаруженные в земной коре; их поступление в растения связано с техногенезом.

Различия в содержании химических элементов можно проиллюстрировать наглядно, если представить его в расчете на 1 млрд атомов, составляющих сухую биомассу растений: N – 10 млн, P – 1 млн, K – 3,8 млн, Ca – 1,8 млн, Mg – 1,7 млн, S – 580 тыс., Fe – 130 тыс., B – 3 тыс., Mn – 1 тыс., Zn – 300, Cu – 100, Mo – 5, Co – 1 (Муравин Э.А., 2003).

Большое значение при оценке качества урожая имеет *зольность* – остаток от сжигания сухого вещества растений, представленный зольными элементами. Зола составляет 0,5–5 % массы сухого вещества растений. Однако отдельные ткани и органы существенно отличаются по ее содержанию. Так,

семена содержат около 3 % золы от сухой массы, листья – 10–15 %, травянистые стебли и корни – 4–5 %. Ткани растений, состоящие из живых клеток, содержат золы больше, чем ткани, состоящие из мертвых клеток. Количество золы в растении в значительной степени зависит от состава почвы и условий увлажнения: чем богаче почва солями и чем суше климат, тем больше золы накапливается в растении. Водные растения содержат больше золы, чем растущие на суше (у водорослей – до 50 % и более).

Состав золы растений различен и отражает неодинаковую потребность культур в элементах минерального питания (табл. 3; Смирнов П.М., Муравин Э.А., 1991).

Таблица 3 – Состав золы растений, принадлежащих к различным ботаническим семействам, %

Культура		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	SiO ₂
Пшеница:	зерно	48	30	3	12	5	2	2
	солома	10	30	20	6	3	3	20
Горох:	зерно	30	40	5	6	10	1	1
	солома	8	25	35	8	6	2	10
Картофель:	клубни	16	60	3	5	6	2	2
	ботва	8	30	30	12	8	3	2
Сахарная свекла:	корнеплоды	15	40	10	10	6	10	2
	ботва	8	30	15	12	5	25	2
Подсолнечник:	семена	40	25	7	12	3	3	3
	стебли	3	50	15	7	3	2	6

В золе семян зерновых и зернобобовых культур сумма оксидов фосфора, калия и магния составляет около 9 %. Доля фосфора в вегетативных органах значительно меньше, в их составе больше калия. Зола клубней картофеля и корнеплодов сахарной свеклы представлена в основном оксидом калия, доля которого составляет 40–60 %. Высоким содержанием серы отличаются зернобобовые культуры. Натрием наиболее богата сахарная свекла. Кремний содержится в зерне пленчатых культур – овса, риса и ячменя, причем преимущественно в плодовых оболочках. В золе листьев и стеблей риса преобладает оксид кремния – 60–65 %, хотя существенных различий по содержанию зольных элементов в семенах между рисом и другими культурами не имеется (табл. 4; Кретович В.Л., 1981).

В клеточном соке минеральные соли представлены нитратами, фосфатами, хлоридами и другими соединениями. Состав, концентрация и вязкость клеточного сока видоспецифичны и даже у одного растения в клетках, тканях и органах различны. Не все названные соединения присутствуют в вакуолях одновременно. Некоторые из них присущи только определенной группе, другие распространены более широко. На состав и свойства клеточного сока оказывают влияние возраст клетки и самого растения, условия внешней среды. Высоким содержанием нитратов отличаются овощные культуры, картофель, подсолнечник, фасоль. В молодых частях растений обычно накапливаются фосфаты. Хлориды характерны для растений, растущих на засоленных почвах.

Велика и многообразна роль неорганических веществ в жизни растения. Соли, диссоциирующие на анионы и катионы, играют важную роль в поддержании *осмотического давления* и *кислотно-щелочного равновесия* клетки. Благодаря сохранению определенной концентрации ионов в клетке обеспечи-

вается постоянная величина осмотического давления. Разность осмотического давления клеточного сока и тургорного напряжения оболочки клетки определяет "сосущую силу" клетки, интенсивность поступления воды и питательных веществ. Для растений характерны большие колебания величины осмотического давления в зависимости от условий выращивания. Так, у пресноводных водорослей в клетках эпидермиса оно колеблется в границах 1–3 атм, у полевых растений – 5–10 атм, у пустынных и солончаковых 80–100 атм. Однако для каждого вида растений существуют определенные физиологически допустимые пределы изменений осмотического давления. Кроме минеральных солей оно определяется также содержанием сахаров и аминокислот.

Таблица 4 – Зольность зерна различных культур и содержание в нем минеральных элементов, мг/100 г сухого вещества

Элемент	Пшеница	Ячмень	Рожь	Овес		кукуруза	Рис		Сорго
				цельное зерно	обрущенное зерно		цельное зерно	обрущенное зерно	
K	453	580	412	460	380	339	342	118	330
P	380	440	359	341	400	322	285	290	445
S	196	160	146	199	185	151	–	–	171
Mg	157	180	92	143	120	121	90	47	105
Cl	76	120	60	100	70	45	23	286	54
Ca	51	50	31	95	66	29	68	67	22
Na	24	77	26	87	50	36	78	54	7,5
Si	12	420	6	690	28	–	1790	–	4
Fe	5	5	2,7	7	4,2	3,6	–	3,2	8
Zn	5	–	–	2,7	–	–	–	–	9
Mn	4	2	2,5	5	4	0,7	5,6	1,7	5
Cu	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	0,4	0,08
Зольность, %	1,5	2,0	1,7	3,4	2,0	3,4	5,9	0,9	1,5

Концентрация различных ионов во внутриклеточной жидкости отличается от концентрации их в межклеточной жидкости. Например, в клетке содержатся в высокой концентрации K^+ и Mg^{2+} , тогда как Na^+ и Cl^- локализованы главным образом в межклеточной жидкости. Преобладающим анионом в клетке является фосфат, который в виде свободных ионов встречается в клеточном соке, но большая часть фосфата в организме связана и существует в форме фосфолипидов, нуклеотидов, фосфопротеидов и фосфорилированных углеводов. В форме дигидрофосфата ($H_2PO_4^-$) и гидрофосфата (HPO_4^{2-}) он участвует в буферном механизме регулирования pH клеточного сока.

Способность минеральных элементов взаимодействовать с молекулами биополимеров – белками и нуклеиновыми кислотами – определяет их влияние на формирование пространственной структуры высокомолекулярных соединений. Большое значение в этом отношении может иметь концентрация и состав ионного окружения, иногда независимо от образования химических связей ионов с биополимерами. Влияя на конформацию и физико-химические свойства биологически важных соединений, мембран и других субклеточных структур, неорганические ионы воздействуют тем самым на каталитическую, гормональную, транспортную, формообразовательную и другие их функции.

Хорошо известно в этом отношении действие ионной силы на конформацию РНК, ДНК и белков, влияние Mg^{+} на функционирование рибосом, роль Ca^{2+} в регуляции аденилат- и гуанилатциклазной систем.

Особенно велико значение минеральных элементов в функционировании ферментативного аппарата растений. Действие ионов на ферменты может быть прямым и косвенным. При *прямом* – ионы либо входят непосредственно в состав фермента или фермент-субстратного комплекса, либо выступают в роли аллостерических эффекторов и неспецифических агентов, влияющих на физико-химические свойства ферментов, их конформацию, не будучи их обязательными компонентами. Многие энзиматические реакции протекают только в присутствии определенных ионов. *Косвенное* действие ионов на ферменты может осуществляться через изменения: 1) физико-химических свойств цитоплазмы, структуры воды в клетке; 2) структуры и свойств биомембран, поскольку многие ферменты являются мембраносвязанными; 3) содержания субстратов отдельных ферментов; 4) активности биосинтеза ферментативных белков.

Элементы, которые содержатся в золе в очень небольших количествах – железо, цинк, марганец, медь, молибден, кобальт и другие, – необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, так как входят в состав ферментов в качестве кофакторов, обеспечивающих их активность.

Зола, получающаяся при сжигании растений, образуется не только и даже не столько из неорганических веществ, содержащихся в нем, сколько из разных органических соединений, в состав которых входят те или иные элементы, образующие золу. Так, серный ангидрид SO_2 образуется в результате сгорания белков растений из серы, которая входит в состав серосодержащих аминокислот (цистина, цистеина, метионина). Фосфорный ангидрид, который составляет значительную часть золы, образуется, как правило, из фитина нуклеопротеидов и фосфолипидов. Фитин является кальций-магниевой солью фитиновой или инозитфосфорной кислоты. В семенах некоторых культур, кроме кальция и магния, в состав фитина входят калий и другие элементы. Фитин является главным источником фосфора, образующегося при сжигании зерна. Гидролиз фитина, сопровождающийся отщеплением от него остатков фосфорной кислоты, катализирует фермент фитаза.

3.3. Белки

Белок – самое неустойчивое из всех известных нам соединений углерода. Он распадается, лишь только он теряет способность выполнять свойственные ему функции, которые мы называем жизнью, и в его природе заложено то, что эта неспособность, раньше или позже, наступает.

Ф. Энгельс, 1894

Белки – биополимеры с молекулярной массой более 5 тыс. Да*. Они являются непременным компонентом всех живых организмов – растительных, животных и бактериальных. По мнению А.И. Опарина (1957), белки возникли на Земле более 4 млрд. лет назад из неорганических молекул азота, сероводорода, углекислоты и воды. Сегодня в природе существует примерно от 10^{10} до 10^{12} различных

* Да (дальтон) – единица массы, практически равная массе атома водорода, т. е. 1,0000 по шкале атомных масс.

белков, составляющих основу $1,2 \cdot 10^6$ видов живых организмов, начиная от вирусов и заканчивая человеком. В среднем можно принять, что 10 % биомассы на Земле представлено белком, т. е. его количество измеряется величиной порядка 10^{12} – 10^{13} т. Они осуществляют обмен веществ и энергетические превращения, неразрывно связанные с активными биологическими функциями. Именно поэтому белки и явились тем "строительным" материалом, который послужил основой возникновения самой жизни на Земле. Ни одно вещество не обладает столь многогранными функциями в жизни организма, как белки. Ф. Энгельс (1894) писал: "Повсюду, где мы встречаем жизнь, мы находим, что она связана с каким-либо белковым телом и повсюду, где мы встречаем какое-либо белковое тело, не находящееся в процессе разложения, мы без исключения встречаем и явления жизни". Термин "**белок**" происходит от немецкого слова *Eiweiss*, что означает буквально яичный белок, который с незапамятных времен использовался человеком как источник пищи. Согласно описаниям Плиния Старшего, уже в Древнем Риме яичный белок применялся и как лечебное средство. Другое название – "**протеины**" – образовано от греческого слова *proteios* – первостепенный. Последний термин, данный в 1835 г. Г.И. Мульдером, подчеркивает исключительно важное значение этого вещества.

Белок в виде клейковины* впервые был выделен итальянцем Якопо Бартоломео Бенкари (1682–1766) из пшеничной муки. В своих трудах, опубликованных в "Комментариях Болонского института наук и искусств" в 1728 г., он отметил сходство клейковины с веществами живой природы, почему и назвал ее *Gluten Vegetabile*. Это событие принято считать рождением химии белка. Впервые термин "белковый" (*albumineise*) применительно ко всем жидкостям животного организма использовал французский физиолог Ф. Кене в 1747 г., и именно в таком толковании этот термин вошел в 1751 г. в "Энциклопедию" Д. Дидо и Ж.Д. Аламбера.

Несмотря на то, что белки играют фундаментальную роль в структуре и жизнедеятельности всех без исключения живых организмов, их содержание в сухом веществе различных видов, принадлежащих к животному и растительному миру, не одинаково. Так, в органах и тканях человека и животных содержание белка составляет 40–50 % сухой массы. Еще больше содержат его микроорганизмы; некоторые же вирусы являются почти чистыми белками. По сравнению с животным миром растения несколько обеднены белком. Причем, его содержание в различных органах и тканях растений сильно варьирует. Основная масса белков растений концентрируется в семенах и плодах. В вегетативных органах растений их массовая доля относительно невелика. Содержание белков в стеблях, листьях и корнях растений колеблется в пределах 0,3–3 %, в зерне злаков 7–15 %, семенах масличных культур 18–28 %, семенах бобовых растений 25–50 % сухой массы.

Белки содержат 51–55 % углерода, 21–24 % кислорода, 15–18 % азота, 6,5–7,0 % водорода и 0,3–1,5 % серы. Вхождение серы в состав белковой молекулы впервые было установлено экспериментально в 1844 г. нашим соотечественником Н. Э. Лясковским. В состав белков помимо углерода, кислорода, водорода, азота и серы могут входить фосфор, железо, цинк, магний, медь, молибден и другие химические элементы. У растений, произрастающих на почвах, богатых селеном, последний может заменять в белках серу. Такие белки найдены в пшенице и некоторых видах астрагала.

* Клейковина – аморфный белок, находящийся в крахмалистом эндосперме злаков.

Из всех химических элементов, входящих в состав белка, наиболее стабильным является содержание в нем азота. По количеству белкового азота можно вычислить содержание белков в растениях. Среднее содержание азота в белках составляет 16 %, поэтому, умножая количество белкового азота на коэффициент 6,25 ($100:16=6,25$), получают суммарное содержание белков в растении. Однако необходимо отметить, что белки отдельных сельскохозяйственных культур все же несколько различаются по содержанию в них азота и поэтому коэффициенты пересчета азота на белок неодинаковы: для зерна пшеницы и кормового ячменя – 5,70; гороха, сои, фасоли, пивоваренного ячменя – 6,25; кукурузы – 6,00; риса – 5,95; овса и ржи – 5,83; арахиса – 5,46; подсолнечника, льна и хлопчатника – 5,30.

3.3.1. Функции белков

Функции белков в организме чрезвычайно важны и многообразны. Каждый белок как вещество с определенным химическим строением выполняет одну узкоспециализированную функцию и лишь в отдельных случаях – несколько взаимосвязанных. К важнейшим функциям белков в растениях следует отнести следующие: 1) каталитическую; 2) запасную; 3) структурную; 4) защитную; 5) транспортную; 6) регуляторную.

Каталитическая или ферментативная функция. Все химические превращения в клетке протекают при участии каталитически активных белков, называемых ферментами. Они составляют самый многообразный и наиболее высокоспециализированный класс белков. К настоящему времени открыто более 2000 различных ферментов, каждый из которых обладает уникальной структурой и содержит активный центр, способный "узнавать свою" молекулу и избирательно взаимодействовать с ней.

Запасная функция. Белок представляет собой высоковосстановленное соединение с большим запасом энергии. При окислении 1 г белка освобождается 23 кДж энергии. Для сравнения приведем калорийность других веществ, также откладываемых в запас в растительных клетках: глюкоза – 15,5 кДж/г, крахмал – 17,6, жир – 38,2 кДж/г. Высокое качество белка как питательного материала обусловлено и тем, что в отличие от других запасных веществ в его молекуле имеется азот. Запасные белки в больших количествах накапливаются в клетках семян при созревании на растении, а затем при прорастании семян гидролизуются до аминокислот или низкомолекулярных пептидов, используемых затем клеткой для формирования нового растения на ранних стадиях развития. Наиболее известными примерами таких белков служат белки зерновок пшеницы, кукурузы и риса. Качество растениеводческой продукции оценивают не только по содержанию, но и по переваримости белков. Биологическая ценность белков определяется, прежде всего, их аминокислотным составом. Если принять за 100 % ценность белка молока или яйца, то биологическая ценность белков зерна риса составит 83-86 %, овса – 70-78 %, ржи – 68-75 %, пшеницы – 62-68 %, кукурузы – 52-58 %. Более низкая биологическая ценность белка зерна кукурузы обусловлена тем, что он беден незаменимыми аминокислотами лизином и триптофаном.

Защитная функция. Многие белки защищают растение от вторжения других организмов или предохраняют его от повреждений. Защитная (иммунная) функция белков реализуется антителами, интерферонами, а также вырабатываемыми растением токсичными белками. *Антитела* – соединения белковой природы, синтез которых усиливается в процессе иммунного ответа – реакции организма на проникновение во внутреннюю среду посторонних белков или других инородных компонентов высокомолекулярных углеводов. Антитела, соединяясь с антигеном, образуют нерастворимый комплекс, делая антиген безопасным для организма. *Интерфероны* – гликопротеины, синтезирующиеся клеткой после проникновения в нее вируса. В отличие от антител, интерфероны взаимодействуют не с антигеном, а вызывают образование внутриклеточных ферментов. Они блокируют синтез внутренних белков, препятствуя копированию вирусной информации. Это приостанавливает размножение вируса.

Чрезвычайно интересны белки-лектины, обладающие агглютинирующими, склеивающими свойствами по отношению ко многим веществам углеводной природы, в том числе гликопротеинам патогенных грибов и бактерий. Эти белки находятся на поверхности клеточной мембраны и даже проникают в клеточную стенку. Они очень специфичны в отношении различных видов инфекции: в листьях яблони есть белки, "узнающие" даже отдельные штаммы бактерий. Лектины специфически связывают патогенные бактерии, образуя при этом как бы тромб, предотвращающий дальнейшее распространение болезни. Известна способность белков из

зародышей пшеницы, специфичных к олигомерам хитина, связывать споры и кончики гиф *Zygo-, Asco-, Basidiomycetes*. Лектины из бобов сои и арахиса специфически связывают *Penicillium* и *Aspergillus*, препятствуя растяжению их мицелия. **Защитные белки** предохраняют живой организм от разрушения или способствуют его выживанию при повреждении. Защитная функция белков-токсинов, вырабатываемых растениями, заключается в том, что они предохраняют растения от поедания их животными, а также ингибируют протеолитические ферменты насекомых-вредителей, повреждающих семена многих растений. Различные по иммунным свойствам объекты отличаются как по количеству и качеству белков, имеющихся в здоровом организме, так и по тем изменениям, которые происходят в белковом спектре после заражения. Большая питательная ценность белков отчасти объясняет тот факт, что часто растения, содержащие большое количество белкового азота, лучше противостоят заболеваниям. Например, при хранении сельскохозяйственной продукции потери у таких сортов ниже, чем у тех, которые содержат меньше белка (табл. 5; Рубин Б.А., Арциховская Е.В., Аксенова В.А., 1975).

Таблица 5 – Распределение форм азота в листьях хранящихся кочанов капусты, % общего азота

Сорт	Дата	Белковый азот	Аминный азот
Амагер (устойчивый к <i>Botrytis cinerea</i>)	03.12	47,0	32,7
	13.04	37,5	42,3
Номер первый (неустойчивый)	03.12	39,4	39,0
	13.04	10,2	58,3

В качественном отношении белки устойчивых форм часто имеют в своем составе много аминокислот, плохо переносимых тем или иным патогеном. Например, фитотрофа "не любит" белки с большим содержанием аргинина. В то же время легко заболевающие антракнозом сорта винограда отличаются повышенным содержанием аспарагина по сравнению с устойчивыми. Интересно, что не только состав, но и структура белковых форм, устойчивых и не устойчивых к инфекции, различна. Так, в клетках картофеля, устойчивого к раку, обнаружены белки с необыкновенно плотной, жесткой глобулой. Наиболее активно противостоят инфекции так называемые анти-ферменты, способные ингибировать ферменты паразита: из семян злаков выделены ингибиторы α -амилазы грибов; ферменты глюконазы, хитиназы вызывают *мацерацию*, т. е. размягчение (разъединение) мицелия многих грибов-паразитов.

Набор белков, ответственных за иммунные свойства организмов, изменяется в процессе эволюции. Это происходит в ответ на появление у патогенов новых белков, причиняющих вред растению. Таким образом, происходит параллельное развитие свойств вирулентности у патогена и устойчивости у растения, обусловленных главным образом спецификой их белков.

Структурная (пластическая функция). Более половины сухой массы цитоплазмы и ее органелл принадлежит белкам. Структурные белки входят в состав покровных тканей растений, в том числе семян и плодов. В комплексе с липидами они составляют также структурную основу биомембран клеток, обеспечивая сохранение органеллами клетки необходимой последовательности биохимических реакций.

Транспортная функция. К этой группе относятся белки, осуществляющие связывание и транспорт веществ между тканями через мембраны клеток. Согласно концепции переносчиков, прохождение веществ через мембраны осуществляется с помощью специальных белковых молекул-переносчиков, расположенных непосредственно в мембранах. Ион проходит через мембрану не в свободном виде, а соединившись на ее внешней поверхности с переносчиком. Ни сам переносчик, ни его комплекс с ионом не может перейти во внешнюю среду. Однако комплекс переносчика с ионом подвижен в самой мембране и передвигается к ее противоположной стороне. Здесь этот комплекс распадается и высвобождает ион во внутреннюю среду, а сам переносчик снова передвигается к внешней стороне мембраны, где вновь соединяется с другим ионом. Переносчики специфичны, т. е. участвуют в переносе определенных ионов и тем самым обеспечивают избирательность поступления веществ в клетку.

Относительно механизма передвижения переносчика в мембране существует три гипотезы: 1) переносчик диффундирует; 2) переносчик скользит (предполагая наличие в мембране пор, в этом случае он мигрирует по стенкам поры); 3) переносчик поворачивается в мембране (рис. 8; Якушкина Н.И., 1980).

Регуляторная функция. Некоторые белки участвуют в системе регуляции клеточной или физиологической активности. К ним относятся многие гормоны, регулирующие обмен глюкозы, транспорт ионов кальция и фосфат-ионов.

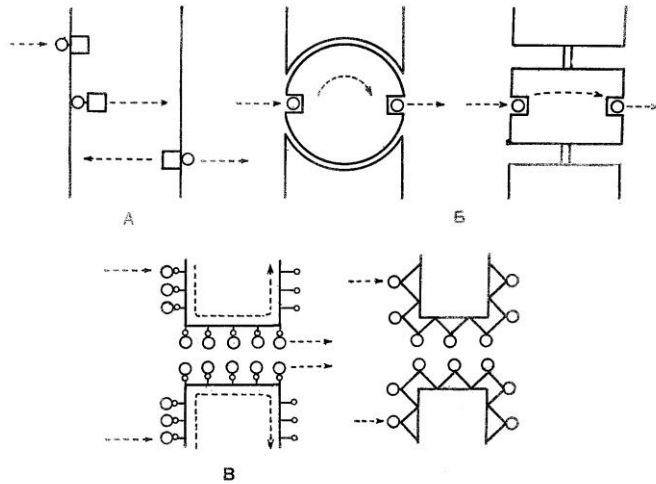


Рис. 8. Механизмы действия мембранных переносчиков:
 А – диффундирующие; Б – вращающиеся; В – скользящие

Гормоны регулируют обмен веществ внутри клеток и интегрируют обмен в различных клетках организма в целом. К регуляторным белкам может быть отнесен монеллин, синтезируемый одним из африканских растений, который используется для подслащивания пищи. Употребление в пищу монеллина предотвращает ожирение человека и животных.

3.3.2. Аминокислоты – структурные элементы белков

Основной структурной единицей белков являются аминокислоты. Последние наделены свойством, общим для всех молекул, способных к полимеризации: содержат, по меньшей мере, две разные химические группы, реагирующие друг с другом с образованием ковалентной связи. У аминокислот такими группами служат аминогруппа ($-\text{NH}_2$) и карбоксильная группа ($-\text{COOH}$), а связь, которой определяется образование белкового полимера, представляет собой пептидную (амидную) связь. Образование пептидной связи можно представить себе как отщепление молекулы воды от присоединяющихся друг к другу $-\text{COOH}$ и $-\text{NH}_2$ -групп (рис. 9; Рис Э., Стернберг М., 2002).

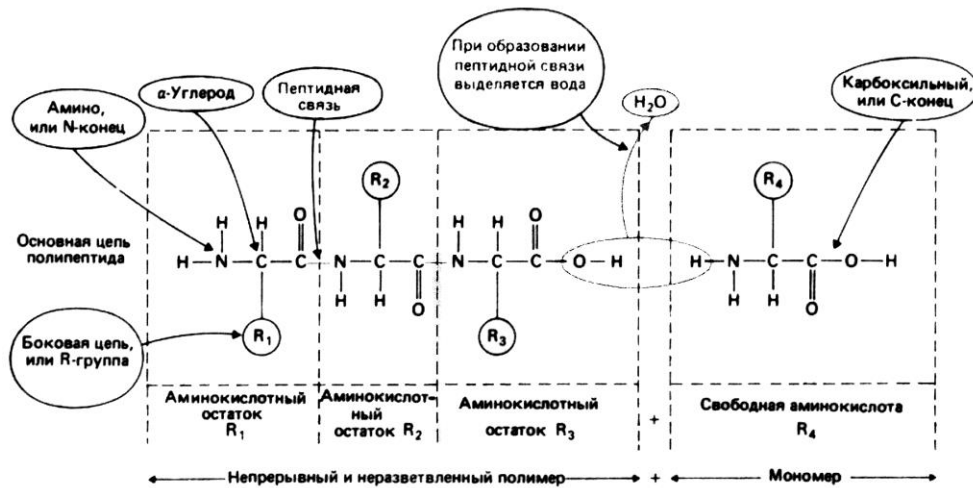
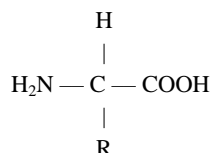


Рис. 9. Схема образования полипептидной цепи

В каждой молекуле аминокислоты есть атом углерода, связанный с четырьмя заместителями:

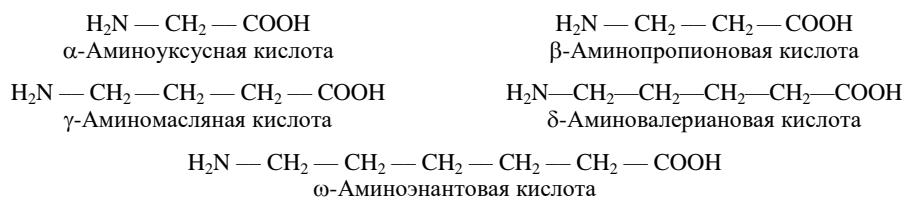


Один из них – атом водорода H, второй – карбоксильная группа COOH, третий – аминогруппа NH₂ и, наконец, четвертый заместитель – боковая цепь R (радикал). Последний может представлять собой остатки жирных кислот, ароматические кольца, различные гетероциклы. В аминокислоте аланине R представляет собой метильную (–CH₃) группу, а в глицине эту роль выполняет атом водорода (–H):



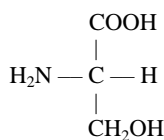
Строение R-групп у разных аминокислот сильно варьирует, и именно оно определяет уникальные свойства каждой аминокислоты.

В зависимости от степени удаленности от карбоксильной группы, атомам углерода в молекуле аминокислоты дают буквенные или цифровые (по международной номенклатуре) обозначения. Ближайший к ней атом углерода именуют α-атомом, второй – β-атомом, третий – γ-атомом, четвертый – δ-атомом, пятый – ω-атомом, соответственно различают α-, β-, γ-, δ-, ω-аминокислоты:

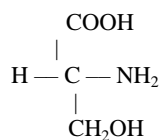


Несмотря на возможность существования аминокислот с β-, γ-, δ- и даже ω-положением аминогруппы, для построения белков природа выбрала исключительно α-аминокислоты. Это обусловлено прежде всего тем, что только α-аминокислоты, соединенные "хвост к головке" при помощи пептидной связи между карбоксильной группой одной аминокислоты и аминогруппой другой, способны обеспечить достаточную прочность длинной цепи и устойчивость структуры белковой молекулы.

Каждая α-аминокислота (кроме глицина) в зависимости от взаимного расположения четырех заместителей может существовать в виде пары энантиомеров – в двух формах, отличающихся друг от друга, как предмет от своего зеркального отражения или как правая рука от левой. Такие соединения получили название **хиральных** (от греч. слова "cheir" – "рука"). Следовательно, хиральность – это свойство соединений существовать в виде пары несовместимых друг с другом зеркальных изображений. Хиральные соединения иначе называются **дисимметричными**. Те хиральные молекулы, у которых нет оси симметрии, называются **асимметричными**. Таким образом, асимметричная молекула всегда хиральна, но не всякая хиральная молекула асимметрична. Молекулы, не имеющие энантиомеров, называют **ахиральными**. Хиральные молекулы содержат атом, вокруг которого размещены четыре разных атома или функциональные группы. Он называется хиральным атомом или хиральным центром. Помимо углерода хиральными могут быть атомы кремния, азота, фосфора, магния и ряда других элементов. Хиральные молекулы открыл в 1848 г. французский химик-микробиолог Луи Пастер. Та форма аминокислоты, у которой на проекционном изображении аминогруппа расположена справа от оси COOH–R, называется **D-аминокислотой**, а при ее расположении слева от этой оси – **L-формой**:



L-серин



D-серин

Хиральные соединения обладают *оптической активностью*, они способны вращать плоскость поляризованного света. Величину и направление вращения плоскости поляризации измеряют поляриметром. *Энантимеры* проявляют одинаковые химические и физические свойства, за исключением одного – направления вращения плоскости поляризованного света. Энантиomer, вращающий плоскость поляризации по часовой стрелке, называется правовращающим и обозначается знаком "+", против часовой стрелки – левовращающим и обозначается знаком "-".

Смесь равного количества молекул правого и левого энантимеров, т. е. *эквимольная смесь*, называется *рацемической* (рацемат). Она не обладает оптической активностью, так как действия правовращающих и левовращающих молекул взаимно компенсируются. Для характеристики оптически активных соединений установлена константа – удельное оптическое вращение, под которым понимают величину вращения в угловых градусах при концентрации вещества 1 г/мл и толщине слоя измерения 1 дм. Удельное вращение обозначают знаком $[\alpha]_D^t$, где t – температура, при которой проводили измерение, а D – длина волны света (как правило, используют D-линию натрия, равную 546 нм).

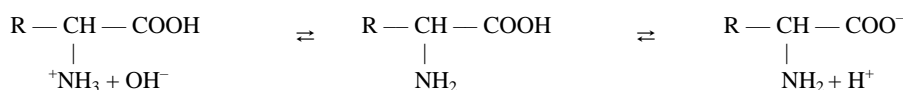
Принадлежность к L- или D-ряду может не совпадать с направлением отклонения плоскости поляризованного луча, а показывает всего лишь относительное расположение H- и NH₂-группы α-углеродного атома. Поэтому различают L (+)-аминокислоты, относящиеся к L-ряду и вращающие плоскость поляризации вправо; L (-)-аминокислоты L-ряда и отклоняющие луч поляризованного света влево. По аналогии имеются аминокислоты D(+)- и D(-)-рядов. Направление отклонения поляризованного луча зависит от природы растворителя и pH среды.

Растения по-разному относятся к D- и L-формам аминокислот, и если L-формы легко включаются в различные процессы обмена веществ, то D-формы растениями не ассимилируются, а иногда даже ингибируют процессы обмена. Это объясняется тем, что ферментативные системы организмов специфически приспособлены к L-аминокислотам. Большинство аминокислот D-ряда имеет сладкий вкус, а природные L-формы – горькие или безвкусные. Для разделения аминокислот на оптические антиподы пользуются химическими, микробиологическими и ферментативными методами. Синтетические аминокислоты являются рацематами, т. е. смесями D- и L-форм.

По внешнему виду аминокислоты – белые кристаллические порошки, большинство которых хорошо растворимы в воде при обычной температуре. Водные растворы аминокислот стабильны, и их можно автоклавировать при температуре 100–120°C.

Как было уже отмечено, аминокислоты содержат одновременно основную аминную и кислотную карбоксильную группы. Поэтому они, как и другие амфотерные соединения, могут диссоциировать с образованием H⁺- и OH⁻-ионов.

Все α-аминокислоты существуют в водной среде живых клеток преимущественно в виде биполярных ионов или цвиттер-ионов* с диссоциированной карбоксильной группой и протонированной аминогруппой:

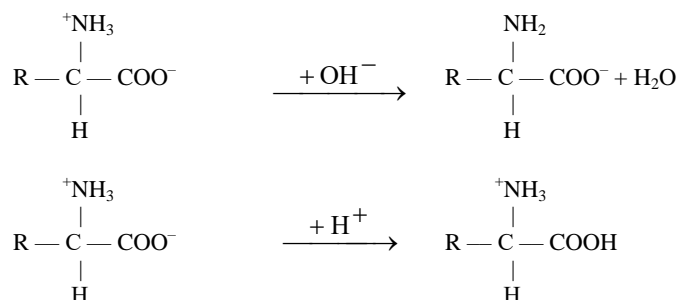


Поэтому большинство аминокислот, будучи моноаминомонокарбоновыми, не обладают вблизи нейтральных значений pH сколько-нибудь выраженным зарядом.

Биполярность структур молекул аминокислот обуславливает целый ряд их свойств, в частности, хорошую растворимость большинства аминокислот в воде и сравнительно низкую – в органических растворителях, большие дипольные моменты их молекул, высокие значения диэлектрических постоянных и температуры плавления. В зависимости от pH среды аминокислоты могут быть в форме анионов, катионов, электронейтральных биполярных ионов или в виде смеси этих форм с доминированием одной из них. В сильнокислых растворах аминокис-

* Цвиттер-ион – нейтральные молекулы, в которых одновременно присутствуют пространственно разделенные противоположные заряды.

лоты присутствуют в виде положительных ионов, а в щелочных – в виде отрицательных ионов, т. е. аминокислоты представляют собой амфотерные электролиты:



К **заряженным аминокислотам** относят те из них, которые содержат дополнительные заряженные группы в боковых цепях (радикалах). Так, к аминокислотам, обладающим кислотными свойствами, относятся аспарагиновая и глутаминовая, имеющие при нейтральном значении pH отрицательный заряд благодаря наличию в их радикалах карбоксильной группы. К заряженным положительно (основным) аминокислотам относятся лизин, аргинин и гистидин. Заряженные остатки могут эффективно связывать фосфорные остатки, что лежит в основе взаимодействия положительно заряженных белков хроматина (гистонов) с молекулами ДНК. Гистидин содержит гетероциклическую (имидазольную) группу, которая в физиологическом интервале значений pH может быть акцептором протона. Поэтому он присутствует в активных центрах многих ферментов, где выполняет функции "протонной помпы".

Значение pH, при котором суммарный заряд аминокислоты равен нулю, т. е. молекула электронейтральна, называется **изоэлектрической точкой** ИЭТ. При этой величине pH не происходит перемещения аминокислоты в электрическом поле. Значение pH раствора чистой аминокислоты в воде называется **изоионной точкой**. Изоэлектрические и изоионные точки аминокислоты в разбавленных растворах приблизительно совпадают.

В зависимости от числа карбоксильных и аминных групп в молекулах аминокислот, а также от констант диссоциации этих групп изоэлектрические точки отдельных аминокислот различны. Дикарбоновые аминокислоты имеют изоэлектрические точки в очень кислой среде, а основные аминокислоты (аргинин, лизин, гистидин) – в щелочной.

Для α -аминокислот характерны исторические названия. Их происхождение связано со свойствами и названиями продуктов, из которых они впервые были выделены. Глицин имеет сладкий вкус (от греч. "гликос"–glykos–сладкий). Цистин выделен из камней желчного пузыря (от греч. "кистис"–kistis–пузырь). Лейцин получен из молочного белка – казеина (от греч. "леукос"–leukos–белый). Аспарагиновая кислота изолирована из ростков спаржи (от лат. "аспарагус"–asparagus–спаржа). Орнитин выделен из помета птиц (от греч. "орнитус"–ornithos–птица). Аминокислоты называют также по названиям материнских карбоновых кислот.

Ученым понадобилось свыше 100 лет на открытие всех аминокислот, входящих в состав белков (табл. 6; Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Громова Л.И., 2004).

Аминокислоты, синтезируемые растениями, делятся на две категории: 1) аминокислоты, входящие в состав белка, т. е. **протеиногенные** и 2) аминокислоты, не входящие в состав белка (**непротеиногенные**), т. е. свободные. Последние составляют очень большую группу, насчитывающую свыше 200 аминокислот, и обуславливают уникальную особенность аминокислотного обмена у растений. Природа использует в белках 19 аминокислот и одну иминокислоту пролин (табл. 7; Проскура И.К., 2001).

Если обозначить составляющие белок аминокислоты буквами, то полипептидную цепь можно представить как слово из сотен таких букв. Расчеты показывают, что из 20 протеиногенных аминокислот, входящих в состав белковой молекулы, можно составить примерно $2 \cdot 10^{18}$ комбинаций. Самая длинная из известных полипептидных цепей содержит около 5 тыс. аминокислот, однако большинство белковых цепей состоит из менее чем 2 тыс. аминокислотных звеньев. В принципе, аминокислотный алфавит допускает существование практически бесконечного множества различных белков-слов. Это означает, что эволюционный отбор не ограничен числом белковых структур.

Каждый вид белка обладает совершенно определенной и неповторимой последовательностью аминокислотных остатков в полипептидной цепи. Порядок расположения аминокислот в полипептиде называют **аминокислотной последовательностью**. Полипептидные цепи могут быть очень длинными и включать полные и неполные комбинации аминокислот. Каждая аминокислота может встречаться в цепи несколько раз. Число аминокислотных остатков в молекуле белка может превышать 500, а в состав белка может входить одна или несколько полипептидных цепей.

Таблица 6 – Хронология открытия аминокислот в составе белков

Аминокислота	Год	Источник	Кто впервые выделил
Глицин	1820	Желатин	А. Браконно
Лейцин	1820	Мышечные волокна	А. Браконно
	1839	Фибрин шерсти	Г. Мульдер
Тирозин	1848	Казеин	Ф. Бопп
Лизин	1859	Казеин	Э. Дрексель
Серин	1865	Шелк	Э. Крамер
Глутаминовая	1866	Растительные белки	Г. Ритгхаузен
Аспарагиновая	1868	Конглутин, легумин (ростки спаржи)	Г. Ритгхаузен
Фенилаланин	1881	Ростки люпина	Э. Шульце, И Барбьери
Аланин	1888	Фиброин шелка	Т. Вейль
Аргинин	1895	Вещество рога	С. Гедин
Гистидин	1896	Стурин, гистоны	А. Кессель
Цистин	1899	Вещество рога	К. Мернер
Валин	1901	Казеин	Э. Фишер
Пролин	1901	Казеин	Э. Фишер
Гидроксипролин	1902	Желатин	Э. Фишер
Триптофан	1902	Казеин	Ф. Гопкинс, Д. Кол
Изолейцин	1904	Фибрин	Ф. Эрлих
Метионин	1922	Казеин	Д. Меллер
Треонин	1925	Белки овса	С. Шрайвер и др.
Гидроксизин	1925	Белки рыб	С. Шрайвер и др.

Таблица 7 – Формула и название протеиногенных аминокислот

Формула	Название	Сокращенное обозначение
$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Глицин	<i>гли</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Аланин	<i>ала</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \quad \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Валин	<i>вал</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \quad \quad \\ \text{H}_3\text{C} \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Лейцин	<i>лей</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \quad \quad \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Изолейцин	<i>иле</i>
$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \\ \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Аспарагиновая кислота	<i>асп</i>
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \\ \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Аспарагин	<i>асп</i>

Формула	Название	Сокращенное обозначение
$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Глутаминовая кислота	<i>глу</i>
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH} \end{array}$	Глутамин	<i>гли</i>
$\text{HO}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}_2}-\text{CH}-\text{COOH}$	Серин	<i>сер</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Треонин	<i>тре</i>
$\text{HS}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Цистеин	<i>цис</i>
$\text{H}_3\text{C}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Метионин	<i>мет</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH} \\ \parallel \quad \\ \text{NH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Аргинин	<i>арг</i>
$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Лизин	<i>лиз</i>
$\begin{array}{c} \text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{HC} \quad \text{CH} \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{H} \end{array}$	Гистидин	<i>гис</i>
$\begin{array}{c} \text{HN}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \end{array}$	Пролин	<i>про</i>
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Фенилаланин	<i>фен</i>
$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	Тирозин	<i>тир</i>
$\begin{array}{c} \text{CH} \\ \parallel \\ \text{HC} \quad \text{C}-\text{C}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{HC} \quad \text{C} \quad \text{CH} \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{H} \end{array}$	Триптофан	<i>три</i>

Существует несколько способов классификации аминокислот.

1. По числу аминных и карбоксильных групп аминокислоты делятся на: а) **моноаминомонокарбоновые**; б) **диаминомонокарбоновые**; в) **моноаминодикарбоновые**; г) **диаминодикарбоновые**. В группу моноаминомонокарбоновых кислот входят аминокислоты, содержащие одну аминную и одну карбоксильную группы (глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин),

содержащие оксигруппу (серин и треонин), а также содержащие серу аминокислоты (цистеин, цистин, метионин). В группу диаминомонокрбонновых кислот, входят аминокислоты, содержащие две аминные и одну карбоксильную группу: орнитин, аргинин, лизин и гидроксизин. В группу моноаминодикарбонновых кислот входят аминокислоты, имеющие одну аминную и две карбоксильные группы (аспарагиновая и глутаминовая). В группу диаминодикарбонновых кислот входят аминокислоты, содержащие две аминные и две карбоксильные группы.

2. По структуре аминокислоты подразделяются на: а) *ациклические* и б) *циклические*. Ациклические аминокислоты в свою очередь подразделяются на: а) оксикислоты и б) кислоты, содержащие серу. Циклические делятся на: а) гомо- и б) гетероциклические (ароматические). К числу гомоциклических аминокислот принадлежат тирозин и фенилаланин. В ряду гетероциклических аминокислот встречаются пролин, оксипролин, гистидин, триптофан.

3. В зависимости от химического строения боковой цепи в молекуле аминокислоты делятся на: а) *алифатические* (глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин); б) *гидроксиаминокислоты* (серин, треонин); в) *дикарбоксильные* (аспаргиновая и глутаминовая кислоты); г) *амиды дикарбоксильных аминокислот* (аспарагин, глутамин); д) *аминокислоты с катионообразующими группами в боковых цепях* (гистидин, лизин, аргинин); е) *серосодержащие аминокислоты* (цистин, цистеин, метионин); ж) *ароматические аминокислоты* (фенилаланин, тирозин, триптофан); з) *липофильные* пролин. Аминокислоты с гидрофобными боковыми группами большей частью локализованы внутри белковых макромолекул, тогда как аминокислоты с полярными боковыми группами располагаются на их поверхности. В составе полярных α -аминокислот имеются функциональные группы, способные к ионизации (ионогенные) и не способные переходить в ионное состояние (неионогенные). При этом кислые и основные ионогенные группы радикалов, располагаясь, как правило, на поверхности молекул белков, принимают участие в ионных (электростатических) взаимодействиях. В роли полярных неионогенных групп в молекулах белков выступают гидроксильные группы серина, треонина и амидные группы глутамина и аспарагина. Эти группы могут располагаться как на поверхности, так и внутри белковой молекулы и принимать участие в образовании водородных связей с другими полярными группировками.

4. По строению соединений, получающихся при расщеплении углеродной цепи, аминокислоты в организме подразделяются на: а) *глюкопластичные* (глюкогенные) – при недостаточном поступлении углеводов или нарушении их превращений они через шавелевоуксусную и фосфоэндопировиноградную кислоты превращаются в глюкозу (глюкогенез) или глюкоген. К этой группе относятся глицин, аланин, серин, треонин, валин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, аргенин, гистидин, метиланин; б) *кетопластичные* (кетогенные) – ускоряют образование кетоновых тел – лейцин, изолейцин, тирозин и фенилаланин (три последние могут быть и глюкогенными).

5. В зависимости от того, могут ли аминокислоты синтезироваться в организме или обязательно должны поступать в составе пищи, различают: а) *заменимые* (глицин, аланин, серин, цистеин, тирозин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, аспарагин, глутамин, тирозин). При недостатке тирозина в организме человека в отдельных случаях он может синтезироваться в ограниченном количестве; б) *незаменимые* – аминокислоты, не синтезируемые в организме человека (валин, лейцин, изолейцин, треонин, лизин, метионин, фенилаланин, триптофан, аргинин, гистидин). Последние две аминокислоты незаменимы лишь в детском возрасте, т. к. взрослый организм не требует их поступления с пищей.

Отсутствие в пище хотя бы одной незаменимой аминокислоты вызывает отрицательный азотистый баланс, нарушение деятельности центральной нервной системы, остановку роста и авитаминоз. Отсутствие одной незаменимой аминокислоты приводит к неполному усвоению других. Данная закономерность подчиняется закону Ю. Либиха, по которому развитие живых организмов определяется тем незаменимым веществом, которое присутствует в наименьшем количестве.

Зависимость функционирования организма от количества незаменимых аминокислот используется при определении биологической ценности белков химическими методами. Наиболее широко используется метод Х. Митчела и Р. Блока (1946), в соответствии с которым рассчитывается показатель *аминокислотного сора* (а. с.). Сор выражают в процентах или безразмерной величиной, представляющей собой отношение содержания незаменимой аминокислоты (а. к.) в исследуемом белке к ее количеству в эталонном белке. При расчете сора (в %) формула выглядит следующим образом:

$$\text{Аминокислотный сор} = \frac{\text{мг а.к. в 1 г испытуемого белка}}{\text{мг а.к. в 1 г по аминокислотной шкале}} \cdot 100$$

Аминокислотный состав эталонного белка сбалансирован и идеально соответствует потребностям организма человека в каждой незаменимой кислоте, поэтому его еще называют

"идеальным". В 1973 г. в докладе ФАО и ВОЗ опубликованы данные по содержанию каждой аминокислоты в эталонном белке. В 1985 г. они были уточнены в связи с накоплением новых знаний об оптимальном рационе человека (табл. 8; Колпакова В.В., 2003).

Таблица 8 – Рекомендуемые составы и суточная потребность человека в незаменимых аминокислотах, мг/г белка

Наименование аминокислоты	Рекомендуемые составы белков				Суточная потребность, мг/кг массы тела
	дети* 2–5 лет	дети* 10–12 лет	подростки*	взрослые**	
Изолейцин	28	28	13	40	10
Лейцин	66	44	19	70	14
Лизин	58	44	16	55	12
Метионин + цистин	25	22	17	35	13
Фенилаланин + тирозин	63	22	19	60	14
Треонин	34	28	9	40	7
Триптофан	11	9	5	10	3,5
Валин	35	25	13	50	10

* Данные ФАО/ВОЗ (1985 г.)

** Данные ФАО/ВОЗ (1973 г.)

Аминокислота, скор которой имеет самое низкое значение, называется *первой лимитирующей аминокислотой*. Значение сора этой аминокислоты определяет биологическую ценность и степень усвоения белков.

Другой метод определения биологической ценности белков заключается в определении *индекса незаменимых аминокислот* (ИНАК). Метод представляет собой модификацию метода химического сора и позволяет учитывать количество всех незаменимых кислот. Индекс рассчитывают по формуле:

$$\text{ИНАК} = \sqrt[n]{\frac{\text{Лиз}_6}{\text{Лиз}_3} \times \frac{\text{Три}_6}{\text{Три}_3} \times \dots \times \frac{\text{Гис}_6}{\text{Гис}_3}},$$

где: n – число аминокислот; индексы δ, ε – содержание аминокислоты в изучаемом и эталонном белке.

Помимо химических методов на практике широко применяют биологические методы с использованием микроорганизмов и животных. Основными показателями оценки при этом являются привес (рост животных) за определенный период времени, расход белка и энергии на единицу привеса, коэффициенты перевариваемости и отложения азота в теле, доступность аминокислот. Показатель, определяемый отношением привеса животных (в кг) к количеству потребляемого белка (в г), разработан П. Осборном и носит название *коэффициента эффективности белка* (КЭБ). Для сравнения при определении показателя используют контрольную группу животных со стандартным белком – казеином в количестве, обеспечивающем 10 % белка в рационе. Наличие достаточного количества незаменимых аминокислот в пище и кормах значительно повышает их качество (табл. 9; Казанов Е.Д., Карпиленко Г.П., 2005).

Особенно ценны незаменимые аминокислоты, обогащенные азотом, – лизин, аргинин, триптофан. Ученые всего мира работают над проблемой селекции зерновых культур с высоким содержанием лизина в белках. Особенно остро эта проблема стоит в отношении кукурузы, в семенах которой белков содержится меньше, чем у других зерновых; к тому же эти белки обеднены лизином и триптофаном.

6. По *кислотно-основным свойствам* аминокислоты делят в зависимости от физико-химических свойств бокового радикала на три группы: кислые, основные и нейтральные. К *кислым* относятся аминокислоты с карбоксильными группами в боковом радикале: аспарагиновая и глутаминовая кислоты. К *основным* относятся аминокислоты лизин, аргинин и гистидин, имеющие в боковом радикале группировку с основными свойствами: аминогруппу, гуанидиновую и имидазольную группы. Все остальные аминокислоты – *нейтральные*, так как их боковой радикал не проявляет ни кислых, ни основных свойств. Следовательно, аминокислоты имеют суммарный нулевой, положительный или отрицательный заряд, зависящий от рН-среды.

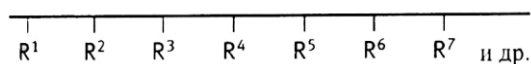
Таблица 9 – Содержание незаменимых аминокислот в суммарных зерновых белках , %

Наименование	Пшеница	Рожь	Ячмень	Овес	Рис	Просо	Кукуруза	Сорго	Горох	Соя
Лизин	2,6	3,8	3,2	4,2	3,5	2,2	2,5	2,5	6,5	6,6
Метионин	1,7	1,7	1,7	2,5	2,9	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4
Триптофан	1,3	1,6	1,2	1,9	1,3	1,4	0,6	0,9	0,8	1,3
Валин	4,6	5,3	5,4	5,3	6,5	4,8	4,4	5,2	4,5	5,4
Изолейцин	3,4	3,5	3,5	3,9	4,6	3,9	2,7	5,6	5,0	5,3
Лейцин	6,9	7,5	7,2	7,4	8,0	9,6	11,2	12,7	6,5	7,9
Треонин	2,6	3,2	2,9	3,3	3,5	3,3	3,2	2,7	3,8	3,8
Фенилаланин	4,3	5,2	5,1	5,3	5,2	4,8	4,1	4,3	4,8	5,1
Сырой белок, % сухой массы	13,5	11,5	12,5	17,1	7,8	11,0	9,5	11,2	22,7	39,0

3.3.3. Структурная организация белков

В 1959 г. датчанин К. Линдерстрем-Ланг предложил различать четыре уровня структурной организации белков: *первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры*, которые обозначают соответственно аминокислотную последовательность, упорядоченное строение основной цепи полипептида, трехмерную структуру белка и структуры белковых агрегатов (рис. 10; Эллиот В., Эллиот Д., 2000).

(а) Первичная структура



(б) Вторичная структура

Отдельные участки полипептидной цепи существуют в виде α -спирали, β -складчатого листка или беспорядочного клубка



α -спираль



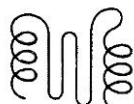
β -складчатые листки



беспорядочный клубок или петля

(в) Третичная структура

Вторичные структуры уложены в компактный глобулярный белок



Молекулу такого белка можно представить таким образом:



(г) Четвертичная структура

Отдельные белковые молекулы, объединенные нековалентным взаимодействием в мультимерный белок

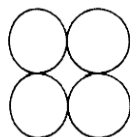


Рис. 10. Уровни структурной организации белка.

Эта классификация господствовала до начала 80-х гг. XX в., пока Г. Шульц и Р. Ширмер не предложили дополнить ее еще двумя уровнями организации: *сверхвторичными структурами* и *доменами*. В итоге сложилось представление о *шести уровнях* структурной организации белков с определенной иерархией, выраженной Г. Шульцем и Р. Ширмером в виде схемы (рис. 11).

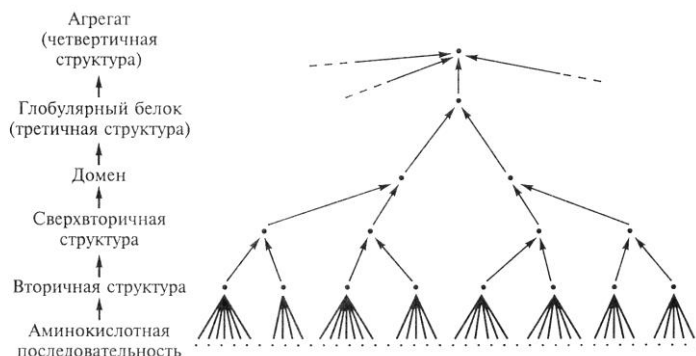


Рис. 11. Современное представление о структурной организации белков

Как видно из схемы, в основе структурной организации белков лежит определенная генетически детерминированная аминокислотная последовательность полипептидной цепи, т. е. *первичная структура*, которая определяет все последующие более высокие уровни организации.

Первичная структура белка характеризует последовательность аминокислотных остатков полипептидной цепи, связанных ковалентными связями (рис. 12). Она закодирована в последовательности нуклеотидов информационной РНК, которая, в свою очередь, определяется генами. Первичная структура белка определяется: 1) природой входящих в молекулы аминокислот; 2) относительным количеством аминокислоты; 3) строго определенной аминокислотной последовательностью. В 1953 г. профессор Кембриджского университета Фред Сэнгер первым определил аминокислотную последовательность белка (инсулина) и был за это удостоен в 1958 г. Нобелевской премии.

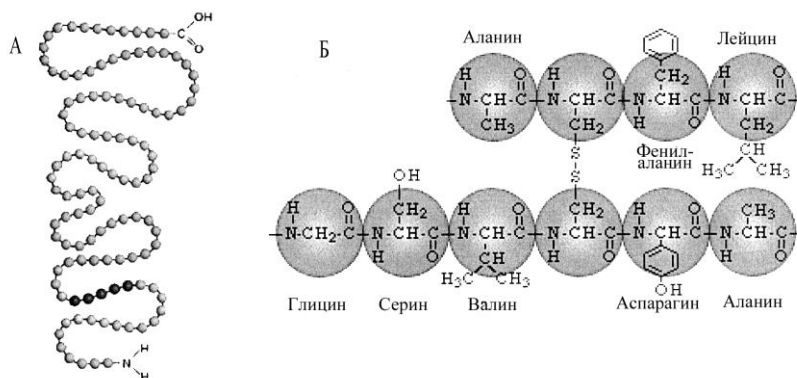
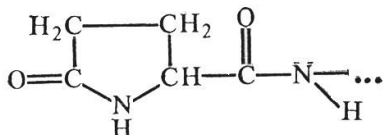


Рис. 12. Первичная структура белка: А – аминокислотная цепочка; Б – фрагмент первичной структуры молекулы инсулина.

Полипептидная цепь содержит на одном конце свободную аминокислоту (*N-конец*), на другом – карбоксильную группу (*C-конец*). За *начало цепи* принимается ее N-конец, именно отсюда начинается отчет аминокислот. Это совпадает с направлением синтеза полипептидной цепи. Аминогруппа на N-конец полипептидной цепи может быть иногда ацелированной, т. е. присоединившей остаток уксусной кислоты ($\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{NH} - \dots$), как например, в цито-

хроме C₁. В ряде белков N-концевым является остаток пироглутаминовой кислоты, не содержащей свободной аминогруппы.



На C-конце встречается либо свободная карбоксильная группа, либо амидированная. Модификации C-конца более редки по сравнению с N-концевыми модификациями.

Основная связь первичной структуры белков – **пептидная связь**. Она образуется в результате **реакции конденсации** между аминогруппой одной свободной аминокислоты и карбоксильной группой другой или между аминогруппой свободной аминокислоты и карбоксильным концом полипептида (при этом выделяется вода). Полипептидная связь достаточно жесткая, поэтому конформационная подвижность ее ограничена. Однако в каждом аминокислотном звене есть α-углеродный атом, который обуславливает присутствие в этом звене двух одинаковых связей; вокруг этих связей возможно вращение. Углы вращения одинаковых связей называются **торсионными** и обозначаются через φ (N–C_α) и φ (C–C_α).

Полипептидная связь (ковалентная азот-углеродная связь) – основной вид связи, определяющий первичную структуру белка. Однако возможно и присутствие **дисульфированных связей** между двумя остатками цистеина в одной полипептидной цепи с образованием цистеина.

Первичная структура белка предопределяет следующие уровни организации белковой молекулы.

Вторичная структура белка – способ свертывания полипептидной цепи в упорядоченную структуру. Различают два основных типа вторичной структуры: 1) α-спираль и 2) β-конфигурацию (β-структуру). Чтобы упростить изображение белковых молекул, в биохимии используют условные обозначения вторичных структур (рис. 13; Эллиот В., Эллиот Д., 2004).

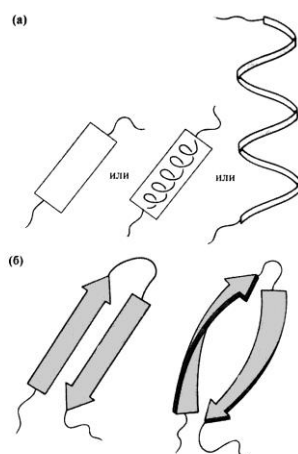


Рис. 13. Символы, применяемые для изображения участков α-спирали (а) и β-складчатых листов (б). Справа показано их правостороннее искривление, характерное для антипараллельных листов. Промежуточные петли и неупорядоченные участки цепи изображаются простой линией.

Термин "**α-спираль**" был введен в 1951 г. Л. Полингом, открывшим укладку полипептидной цепи в виде правосторонней спирали, в белке α-кератине. Форму α-спирали имеют большинство белков. По форме α-спираль напоминает пруттик, в котором стебель – это основная цепь, а торчащие в разные стороны ветки – боковые цепи (R-группы). Для наглядности ее можно представить как правильную спираль, образованную на поверхности цилиндра. На каждый виток спирали приходится 3,6 аминокислотного остатка. Это означает, что группа C=O одной пептидной связи образует водородную связь с группой N–H другой пептидной связи, отстоящей от первой на 4 аминокислотных остатка. И C=O, и N–H связи направлены параллельно оси спирали и попарно противостоят друг другу; такое расположение оптимально для образования водородной связи, следовательно, для стабилизации α-спирали. В поперечном

сечении α -спираль выглядит диском, от которого наружу смотрят боковые цепи аминокислот (рис. 14; Рис Э., Стернберг М., 2002).

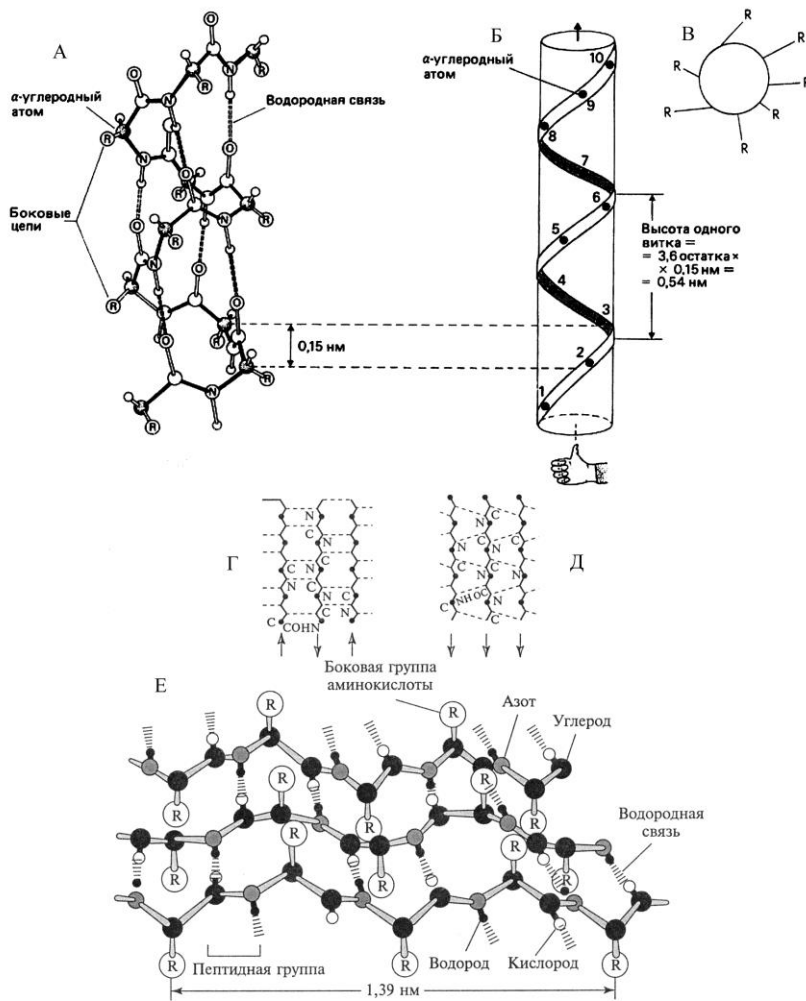


Рис. 14. Вторичная структура белка: А – правая α -спираль; Б – схематическое изображение α -спирали; В – вид с торца α -спирали; Г – антипараллельная β -структура; Д – параллельная β -структура; Е – детальное изображение β -слоя.

Вандерваальсовы радиусы атомов таковы, что внутри спирали нет пустого пространства; это обеспечивает устойчивость α -спирали. Боковые радикалы аминокислотных остатков не участвуют в поддержании α -спиральной конфигурации, поэтому все аминокислотные остатки в α -спирали однозначны.

Полипептидная цепь может так расположиться в пространстве, что отдельные ее участки будут сближены и параллельны друг другу. Между такими участками полипептидной цепи могут возникнуть **водородные связи**. Эта вторичная структура получила название β -конфигурации или β -структуры. Внешне полипептидная цепь, имеющая β -конфигурацию, напоминает складчатый лист, т. е. сложенный гармошкой. Принцип организации β -структуры (β -скаладчатого слоя) предельно прост. Полипептидная цепь находится в растянутом состоянии, а ее C=O- и N—H-группы соединены водородными связями с такими же группами соседней параллельно ориентированной полипептидной цепи. Обе цепи могут быть независимыми или представлять фрагменты одной, общей для них цепи. Образующие β -структуру (складчатый слой) участки полипептидной цепи могут быть направлены в одном и том же или в проти-

воположных направлениях: в первом случае складчатый слой называют *параллельным*, а во втором – *антипараллельным*. Антипараллельная β -структура, как правило, возникает, когда пептидная цепь поворачивает вспять, образуя так называемую *шпильку*. Место поворота называют *β -изгибом*. Наряду с водородными обе формы вторичной структуры обладают и другими связями (рис. 15; Маллер Г., Кордес Ю., 1970):



Рис. 15. Связи, стабилизирующие вторичную и третичную структуру белков

1) *электростатическими*, которые возникают между двумя противоположно заряженными полярными группами, например, между отрицательно заряженными боковыми цепями аспарагиновой или глутаминовой кислот и положительно заряженными протонированными основаниями (боковые цепи аргинина, лизина, гистидина). Эти связи прочнее водородных;

2) *гидрофобными*, которые возникают между неполярными нерастворимыми в воде группами (CH₂—CH₃-группы валина, лейцина, изолейцина, ароматическое кольцо фенилаланина). Эти радикалы сближаются в связи с их выталкиванием из воды.

Электростатические взаимодействия участвуют в стабилизации вторичной структуры, но в меньшей степени, чем водородные связи.

Вторичная структура белка определяется первичной. Аминокислотные остатки в разной степени способны к образованию водородных связей, это и влияет на образование α -спирали или β -слоя (табл. 10, Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Прудникова Т.Н. и др., 2003).

Таблица 10 – Способность аминокислот белков образовывать α -спираль или β -структуру

Аминокислота, способная образовывать		Способность аминокислоты образовывать вторичную систему
α -спираль	β -структуру	
Глутамин, аланин, лейцин	Валин, изолейцин, метионин	Активно образуют
Гистидин, глутамин, валин, фенилаланин, триптофан, метионин	Триптофан, тирозин, глутамин, лейцин, цистеин	Склонны к образованию
Лизин, изолейцин	Аланин	Слабо образуют
Аспарагин, аргинин, серин, триптофан, цистеин	Аспарагин, аргинин, глицин	Безразличны к данной структуре
Аспарагин, тирозин	Гистидин, лизин, серин, аспарагин	Противодействуют образованию структуры
Глицин, пролин	глутамин	Нарушают данный тип структуры

К спиралеобразующим аминокислотам относятся аланин, глутаминовая кислота, глутамин, лейцин, лизин, метионин и гистидин. Если фрагмент белка состоит главным образом из перечисленных выше аминокислотных остатков, то на данном участке сформируется α -спираль. Валин, изолейцин, треонин, тирозин и фенилаланин способствуют образованию β -слоев полипептидной цепи. На участках полипептидной цепи, где сконцентрированы такие аминокислотные остатки,

как глицин, серин, аспарагиновая кислота, аспарагин, пролин, возникают неупорядоченные структуры. Во многих белках одновременно имеются и α -спирали и β -конфигурации.

Сверхвторичная структура белков представляет собой энергетически предпочитаемые ансамбли вторичных структур, образованные путем взаимодействия α -спиральных и β -структурных участков белков. Этот уровень организации свойствен как фибриллярным, так и глобулярным белкам. В фибриллярных белках две α -спирали могут быть скручены относительно друг друга, образуя левую суперспираль. Суперспирализация выгодна энергетически, так как между боковыми радикалами аминокислот, принадлежащих разным α -спиралям, образуются дополнительные нековалентные контакты (вандерваальсовы). Такие спирали найдены в α -кератине, тропомиозине и других белках, что, очевидно, придает им определенные функциональные свойства: прочность, эластичность, способность к сокращению.

В глобулярных белках чаще представлены сверхвторичные структуры, состоящие из двух параллельных β -слоев с сочленением между собой в различных вариантах. Они могут образовывать структуры в виде неупорядоченного клубка ($\beta\beta$), α -спирали ($\beta\alpha\beta$) и β -структуры ($\beta\beta\beta$) (рис. 16; Коничев А.С., Севастьянова Г.А., 2003). Два последовательно соединенных участка $\beta\alpha\beta$ называются **укладкой цепи по Россману** ($\beta\alpha\beta$ -звено). Сверхвторичная структура в виде антипараллельной трехцепочечной β -структуры ($\beta\beta\beta$) называется **β -зигзагом**. Нередко характерные сверхвторичные структуры содержат в своем составе атомы металлов, что, по-видимому, обеспечивает их дополнительную стабильность.

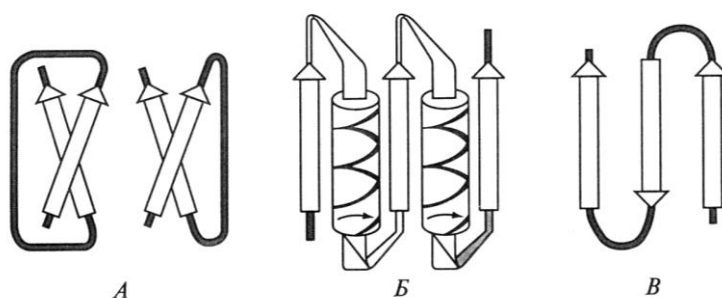


Рис. 16. Сверхвторичная структура белка:

А – неупорядоченный клубок $\beta\beta$ -звено; Б – два последовательно соединенных участка $\beta\alpha\beta$;
В – зигзаг (антипараллельная трехцепочечная β -структура).

Доменная структура белка. Сверхвторичные структуры определенного вида воспроизводятся во многих белках, образуя структурные блоки. Если белок содержит более 200 аминокислотных остатков, то в его структуре обычно обнаруживается несколько в той или иной степени независимо образованных компактных областей. Их обнаружение легло в основу представлений о модульном (доменном) принципе организации белков. *Домены* представляют собой структурно и функционально обособленные области (субобласти или модули) молекулы, обычно содержащие от 40 до 300 аминокислотных остатков и по своей структуре напоминающие отдельные небольшие белки. Домены часто соединяются между собой короткими участками полипептидной цепи, которые выполняют роль шарниров, обеспечивающих определенную подвижность участков молекул белка относительно друг друга.

Доменная структура часто ассоциируется с возможностью представить функциональную активность белка как совокупность отдельных элементарных процессов. Кроме того, структурно-функциональные исследования некоторых ферментов позволили выявить интересную особенность строения доменов – наличие в их составе *субдоменов* или структурных доменов, каждый из которых способен выполнять определенную каталитическую функцию. Активный центр доменов обычно располагается в углублении между структурными доменами, т. е. он расположен на границе структурных доменов. Сложной доменной структурой обладает фермент млекопитающих – синтаза высших жирных кислот, в составе двух из шести образующих ее доменов удалось идентифицировать также несколько субдоменов. Единственная полипептидная цепь фермента содержит все необходимое для катализа семи реакций, т. е. каждый из доменов или субдоменов катализирует определенную реакцию в серии химических превращений, приводящих к синтезу молекул пальмитиновой и стеариновой кислот (рис. 17; Коничев А.С., Севастьянова Г.А., 2003).

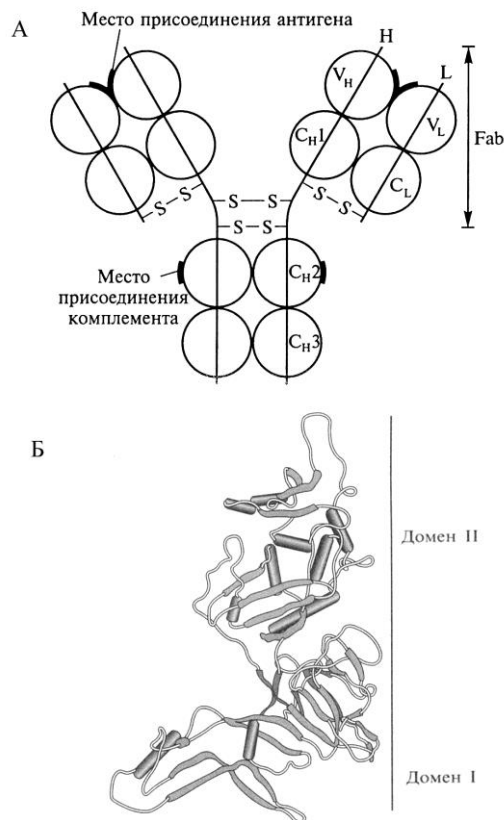


Рис. 17. Доменная структура белка:

А – доменная структура иммуноглобулина G; Молекула иммуноглобулина G состоит из двух тяжелых (H) и двух легких (L) цепей, соединенных дисульфидными мостиками. Домены обозначены в виде кругов: C_H и C_L – константные домены тяжелых и легких цепей соответственно; V_H и V_L – переменные домены. Междоменные участки тяжелых цепей обладают определенной подвижностью: в области двух дисульфидных мостиков, соединяющих тяжелые цепи, расположен так называемый шарнирный участок, сообщающий подвижность участкам Fab ("лапкам") иммуноглобулина. Переменные домены образуют функциональный домен, необходимый для связывания антигена.

Б – доменная структура эндонуклеазы. Домен I отвечает за протеолитическую активность, домен II – за нуклеазную активность.

Во всех глобулярных белках, состоящих из доменов, существует высокая степень сродства между близко расположенными по цепи аминокислотными остатками. На основании этого предполагают, что домены формируются независимо друг от друга, что упрощает процесс укладки макромолекул.

Идея модульной конструкции ферментов и других белков допускает частое появление и быструю эволюцию новых функциональных белков. Белки, образованные в результате ассоциации разных доменов из уже существующих молекул, могут обладать самыми разными новыми функциями. Такой механизм образования новых белков мог бы действовать куда быстрее, чем случайные точечные мутации.

Все домены можно подразделить на четыре класса или группы: α/α , β/β , α/β и $\alpha+\beta$, в зависимости от взаимного расположения в цепи α -спиральных и β -структурных участков. α/α -Домены состоят в основном из α -спиралей, β -участки в них практически отсутствуют. В β/β -доменах имеется несколько β -цепей и нет (или почти нет) α -спиралей. В α/β -доменах α - и β -участки чередуются вдоль цепи. Часто β -участки образуют параллельный β -слой, окруженный α -спиралями. В $\alpha+\beta$ -доменах α - и β -участки обычно располагаются в разных сегментах полипептидной цепи.

Третичная структура белка – это способ расположения всех атомов одиночной цепи (рис. 18; Добрынина В.И., 1976). Чтобы белковая молекула приобрела присущие ей специфич-

ческие свойства, полипептидная цепь должна определенным образом свернуться в пространстве, сформировав функционально активную структуру. Такая структура называется *нативной* – белок с исходной, природной укладкой полипептидной цепи. Несмотря на громадное число теоретически возможных для отдельной полипептидной цепи пространственных структур, сворачивание белка приводит к возникновению единственной нативной конфигурации. Третичная структура, также как и вторичная, обусловлена аминокислотной последовательностью полипептидной цепи, но если вторичная структура определяется взаимодействием аминокислот в ближайших участках цепи, то третичная структура зависит от аминокислотной последовательности далеко расположенных друг от друга участков цепи. Образование изгибов полипептидной цепи, а также направление и угол поворота цепи в этих изгибах обусловлены числом и положением определенных аминокислотных остатков, таких как пролин, треонин и серин, которые способствуют образованию изгибов спиральных участков белка. Третичную структуру белка стабилизируют связи и взаимодействия между радикалами аминокислотных остатков полипептидной цепи. Взаимодействия между боковыми радикалами аминокислотных остатков разделяют на *сильные* и *слабые*.

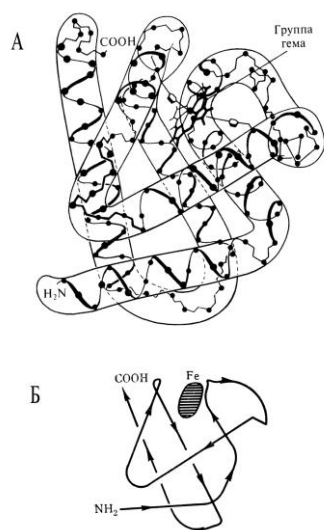


Рис. 18. Третичная структура белка: А – схематическое изображение молекулы миоглобина; Б – направление полипептидной цепи.

К сильным относятся ковалентные связи между двумя атомами серы цистеиновых остатков, состоящих в разных участках полипептидной цепи. Иначе такие связи называются дисульфидными мостиками. *Дисульфидный мостик* образуется при окислении двух остатков цистеина, т. е. при отщеплении водорода от двух *реакционноспособных сульфгидрильных групп* – SH. Новый остаток носит название цистеин.

Слабые взаимодействия, возникающие между боковыми радикалами аминокислотных остатков разных участков полипептидной цепи, разделяются на *полярные* и *неполярные*. К полярным взаимодействиям относятся ионные водородные связи. *Ионные взаимодействия* образуются при контакте положительно заряженных групп боковых радикалов лизина, аргинина, цистеина и отрицательно заряженной COOH⁻-группы аспарагиновой и глутаминовой кислот. *Водородные связи* возникают между функциональными группами боковых радикалов аминокислотных остатков. Неполярные и вандерваальсовы взаимодействия между углеводородами и радикалами аминокислотных остатков способствуют образованию *гидрофобного ядра* (жирной капли) *внутри белковой глобулы*, так как углеводородные радикалы стремятся избежать соприкосновения с водой. Чем больше в составе белка неполярных аминокислот, тем большую роль в формировании его третичной структуры играют вандерваальсовы связи. В результате множества сравнительно слабых связей все части пептидной цепи белка оказываются фиксированными относительно друг друга, образуя компактную структуру. Белки по форме делятся на две группы: 1) *глобулярные*, т. е. имеющие шаровидную форму и 2) *фибрилярные* (нитевидные), имеющие сильно вытянутую форму. Как правило, глобулярные белки выполняют динамические функции, а фибриллярные – структурные функции.

Третичная структура белка уникальна, как уникальна и его первичная структура. Только первичная пространственная укладка белка делает его активным. Различные нарушения третичной структуры приводят к изменениям свойств белка и потере биологической активности.

Четвертичная структура белка. Третичная структура завершает описание строения молекулы белка. Есть, однако, значительное число белков, молекулы которых представляют собой комплексы, образованные из нескольких белковых молекул, соединенных слабыми связями (водородные, электростатические, гидрофобные взаимодействия) и не связанными ковалентными (пептидная, дисульфидная). Такие комплексы называют *олигомерными, мультимерными* или *субъединичными* белками. Их состав и стехиометрия постоянны; это доказывает, что объединяющиеся белковые субъединицы (протомеры) "узнают" друг друга благодаря присутствию на их поверхности комплементарных по форме участков. Укладку субъединиц в функционально активном комплексе называют *четвертичной структурой белка* (рис. 19; Добрынина В.И., 1976). Участки субъединиц, на которых происходят взаимодействия, называют *контактными площадками*. Протомеры соединяются между собой нековалентными связями, располагающимися на контактной поверхности каждого из них. Так как эти связи слабые, между каждой парой протомеров образуются десятки связей. Процесс самосборки четвертичной структуры из протомеров отличается высокой специфичностью; контактные поверхности на одном протомере точно соответствуют контактным поверхностям другого протомера, так что при контакте разноименно заряженные ионные R-группы или R-группы, способные образовывать водородные связи или гидрофобные поверхности, совпадают. Такие контактные поверхности называют *комплементарными*, они подходят друг к другу как ключ к замку, поэтому ошибочное соединение протомеров в олигомерном белке или соединение с другими белками исключается. Комплементарные взаимодействия лежат в основе почти всех биохимических процессов в клетках, включая ферментативные реакции, процессы переноса соединений через мембраны, а также защитные функции белков. Четвертичной структурой обладают белки с молекулярной массой более 50 тыс. Да. Характерным свойством белков с четвертичной структурой является то, что отдельная субъединица не обладает биологической активностью. Четвертичная структура белка является такой же специфичной, уникальной характеристикой данного белка, как другие уровни структуры. Четвертичной структуре принадлежит важная роль в регуляции биологической активности белков, ибо она очень чувствительна к внешним условиям: небольшие их отклонения могут вызвать изменение расположения субъединиц и в связи с этим изменение биологической активности белка. Это явление представляет собой один из основных механизмов регуляции метаболизма, поскольку ферменты и некоторые другие метаболически активные белки имеют четвертичную структуру.

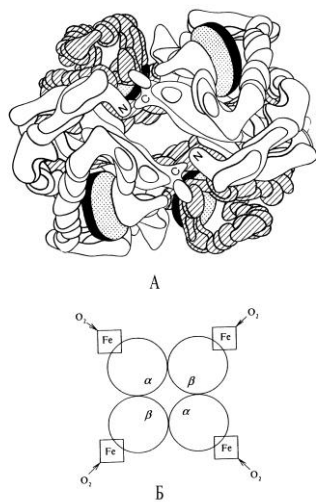


Рис. 19. Четвертичная структура белка: А, Б. – схематическое изображение строения молекулы гемоглобина.

3.3.4. Физико-химические свойства белков

К наиболее важным физико-химическим свойствам белков относятся растворимость, водосвязывающая и жиросвязывающая способность, способность стабилизировать дисперсные системы (эмульсии, пены, суспензии), образовывать гели, пленкообразующая способность, адгезионные и реологические свойства (вязкость, эластичность), способность к прядению и текстурированию.

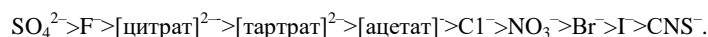
Растворимость. Подавляющее большинство белков – гидрофильные вещества. Растворимость их, как и других высокомолекулярных веществ, определяется природой тех групп, которые оказываются на поверхности молекулы при ее пространственной укладке в нативную

конформацию. Большая часть поверхности белковой молекулы образована группами, способными гидратироваться.

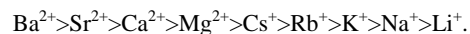
Под *гидратацией* понимается связывание диполей воды с ионными и полярными группами. Ионными, несущими заряд, группами в белках являются радикалы, способные к диссоциации. В диссоциированном состоянии они притягивают молекулы воды за счет ион-дипольных взаимодействий. Неионные полярные боковые радикалы аминокислот (аспарагин, глутамин, серин, треонин) образуют с водой водородные связи. К образованию водородных связей с водой способны кислород и водород, входящие в состав пептидных групп, поскольку эти атомы несут избыточный отрицательный (O^{2-}) или положительный (H^+) заряды. Однако доступ воды к пептидным группам затруднен из-за стерического препятствия, создаваемого боковыми радикалами аминокислот, поэтому существенного вклада в гидрофильность белков они не вносят.

Растворимость белков в воде возрастает при добавлении небольших концентраций нейтральных солей $[(NH_4)_2SO_4, Na_2SO_4, MgSO_4$ и др.], этот эффект называют *солевым растворением*. Растворению белков, как и других веществ, способствуют те факторы, которые уменьшают взаимодействие между молекулами растворимого вещества. Нейтральные соли в малых концентрациях увеличивают степень диссоциации ионизированных групп белка, экранируют заряженные группы белковых молекул и тем самым уменьшают белок-белковое взаимодействие.

Высокие концентрации солей, снижающие гидратацию полипептидных цепей, наоборот, усиливают гидрофобные белок-белковые взаимодействия и вызывают выпадение белка в осадок (*высаливание*). По способности к высаливанию белков из водного раствора анионы и катионы могут быть расположены в особые ряды – *ряды Гофмейстера, лиотропные ряды*. Для анионов в более щелочной среде по сравнению с изоэлектрической точкой (ИЭТ) белка это будет такой ряд:



Лиотропный ряд для катионов в этих же условиях выглядит следующим образом:



Растворимость белков зависит также от pH растворителя, его состава, температуры. Минимальной растворимостью, как указывалось выше, обладают белки в ИЭТ, что объясняется отталкиванием электростатического отталкивания между молекулами белка.

Водосвязывающая способность белков характеризуется адсорбцией воды при участии гидрофильных остатков аминокислот, жиросвязывающая – адсорбцией жира за счет гидрофобных остатков. При невысокой влажности гидрофильные группы, взаимодействуя с молекулами воды, образуют мономолекулярный слой, при высокой – вокруг глобул белка формируется многослойная структура с одновременным проникновением воды во впадины и выступы. Общее количество воды и жира на поверхности достигает 0,2–0,4 г на 1 г белков.

Гелеобразующие свойства белков характеризуются способностью их коллоидного раствора из свободно диспергированного состояния переходить в вязнодисперсное (с образованием систем, обладающих свойствами твердых тел).

Благодаря гидрофильным и гидрофобным группировкам белки могут влиять на растворимость других веществ, выступая в роли эмульгаторов – веществ, стабилизирующих эмульсию, которую образуют взаимно нерастворимые жидкости (вода-масло).

В растворах белки проявляют *коллоидные свойства*: они медленно диффундируют, не проходят через полупроницаемую мембрану, рассеивают свет, характеризуются высокой вязкостью.

Электрические свойства белков. Молекулы белков одновременно несут положительные и отрицательные электрические заряды. Поэтому они, подобно аминокислотам, обладают амфотерными свойствами, и каждый из них характеризуется своей изоэлектрической точкой. В этой изоэлектрической точке суммарный заряд белка равен нулю. При значениях pH ниже его изоэлектрической точки белок несет суммарный положительный заряд, а при значениях pH, превышающих его изоэлектрическую точку, он несет отрицательный заряд. В обоих случаях этот суммарный заряд одинаков для всех молекул данного белка. В результате между молекулами белка возникает электростатическое отталкивание, препятствующее их слипанию. В изоэлектрической точке между молекулами белка нет электростатического отталкивания, под действием которого они стремились бы разойтись в разные стороны, и потому в изоэлектрической точке растворимость белка минимальна. Это можно хорошо проиллюстрировать на примере такого процесса, как скисание молока. Казеин – растворимый белковый компонент свежего молока. pH свежего молока гораздо выше изоэлектрической точки казеина. Однако когда молоко подкисляется молочной кислотой (продуктом жизнедеятельности попавших в него бактерий), его pH снижается и достигает в конце концов изоэлектрической точки казеина – pH 4,7. В этой точке казеин выпада-

ет в осадок в виде белых хлопьев, т. е. молоко створаживается. У большинства цитоплазматических белков изоэлектрические точки лежат несколько выше pH 6. Но поскольку pH цитоплазмы приближается к 7, эти белки находятся все же в щелочной среде по отношению к их изоэлектрическим точкам, и поэтому их суммарные электрические заряды отрицательны.

Важнейшим свойством белков является их способность проявлять как кислые, так и основные свойства, то есть выступать в роли *амфотерных электролитов*. Это обеспечивается за счет различных диссоциирующих группировок, входящих в состав радикалов аминокислот. Например, кислотные свойства белку придают карбоксильные группы аспарагиновой и глутаминовой аминокислот, а щелочные – радикалы аргинина, лизина и гистидина. Чем больше дикарбоновых аминокислот содержится в белке, тем сильнее проявляются его кислотные свойства, и наоборот.

Нативная конформация глобулярного белка – исключительно лабильная и подвержена изменениям под влиянием химических агентов или энергетических и механических нагрузок. Под влиянием внешних факторов может происходить разрыв связей, стабилизирующих пространственную структуру белковой молекулы, упорядоченная, уникальная для каждого белка конформация пептидной цепи нарушается, и белковая молекула целиком или большая ее часть принимает форму беспорядочного клубка – происходит его денатурация. *Денатурация белка* – разрушение связей, стабилизирующих четвертичную, третичную и вторичную структуры, приводящее к дезориентации конфигурации белковой молекулы и сопровождаемое изменением растворимости, вязкости, химической активности, характера рассеивания рентгеновских лучей, снижением или полной потерей биологической функции. Различают *физические* (температура, давление, механическое воздействие, ультразвуковое и ионизирующее излучения) и *химические* (тяжелые металлы, кислоты, щелочи, органические растворители, алкалоиды) факторы, вызывающие денатурацию. Обратным процессом является *ренатурация*, т. е. восстановление физико-химических и биологических свойств белка. Иногда для этого достаточно удалить денатурирующий объект. Ренатурация невозможна, если затронута первичная структура.

Белки активно вступают в химические реакции. Это свойство связано с тем, что аминокислоты, входящие в состав белков, содержат разные функциональные группы, способные реагировать с другими веществами. Такие взаимодействия происходят и внутри белковой молекулы, в результате чего образуются пептидная, водородная, дисульфидная и другие виды связей. К радикалам аминокислот, следовательно, и белков могут присоединяться различные соединения и ионы.

Как уже отмечалось, белки обладают большим родством к воде, т. е. они *гидрофильны*. Это значит, что молекулы белка, как заряженные частицы притягивают к себе диполи воды, которые располагаются вокруг белковой молекулы и образуют водную, или гидратную, оболочку. Эта оболочка предохраняет молекулы белка от склеивания и выпадения в осадок. Величина гидратной оболочки зависит от структуры белка. Например, альбумины легче связываются с молекулами воды и имеют относительно большую водную оболочку, тогда как глобулины присоединяют воду слабее, и гидратная оболочка у них меньше. Таким образом, устойчивость водного раствора белка определяется двумя факторами: наличием у белковой молекулы заряда и водной оболочки. При отсутствии этих факторов белок выпадает в осадок. Данный процесс может быть обратимым и необратимым.

3.3.5. Классификация белков

Из-за относительно больших размеров белковых молекул, сложности строения и слабой изученности их структуры пока не существует рациональной химической классификации белков. Существующая классификация в значительной мере условна и построена главным образом на физико-химических свойствах, источниках получения или их биологической активности. Так, по физико-химическим свойствам белки делят на *фибриллярные* и *глобулярные*, на *гидрофильные* (растворимые) и *гидрофобные* (нерастворимые). По источнику получения белки подразделяют на *животные*, *растительные* и *бактериальные*; по биологической активности – на *белки-ферменты*, *белки-гормоны*, *структурные белки*, *сократительные белки* и *антитела*. Следует, однако, иметь в виду, что из-за несовершенства самой классификации, а также вследствие исключительного многообразия белков многие из отдельных белков не могут быть отнесены ни к одной из описываемых здесь групп.

Все белки принято делить на: 1) *простые*, или *протеины*, и 2) *сложные*, или *протеиды* (комплексы белков с небелковыми соединениями). *Простые белки* являются полимерами только аминокислот; *сложные*, помимо остатков аминокислот содержат также небелковые, так называемые простетические группы.

3.3.5.1. Протеины

Классификация простых белков основана на характере их растворимости. По этому признаку они делятся на: 1) альбумины; 2) глобулины; 3) проламины; 4) глютелины; 5) протамины; 6) гистоны.

Альбумины – белки растворимые в воде. Для них характерны кислотные свойства и относительно невысокая молекулярная масса – 15–17 тыс. Да. Из водных растворов эти белки хорошо высаливаются, а при кипячении они денатурируют. Сульфат аммония начинает осаждать альбумины при 65 % насыщении, а полное осаждение наступает при 100 % насыщении. Альбумины широко распространены в природе. Типичным представителем альбуминов является белок куриного яйца. Они обладают ферментативными свойствами. Альбумины встречаются во всех растительных тканях и семенах (табл. 11; Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Прудникова Т.Н. и др., 2003).

Таблица 11 – Массовая доля простых белков в растениях, % от суммы

Растение	Содержание белка, % сухой массы	Альбумины	Глобулины	Проламины	Глютелины
Подсолнечник (семена)	13–19	22	65	0	19
Клещевина (семена)	17–30	10	90	Следы	Следы
Соя (семена)	26–45	1–3	95	Следы	Следы
Пшеница (зерно)	10–20	3–5	6–10	40–50	30–40
Рис (зерно)	8–10	5	15	10	70
Кукуруза (зерно)	7–13	Следы	5–6	50–55	30–45
Лук (луковица)	6–14	Следы	77	6	15
Огурец (плод)	0,6–0,9	11	85	0	4
Капуста (листья)	0,2	24	56	7	13
Сахарная свекла (корнеплод)	0,2–0,6	10	32	0	58

Название белков обычно связано с ботаническим названием растения, в котором они локализованы. Альбумины у пшеницы, ржи и ячменя называют *лейкозинами*, гороха и сои – *легуmeliнами*, а у клещевины – *рицинами*.

Глобулины – белки, нерастворимые в воде, но растворимые в слабых растворах нейтральных солей. Для их экстракции применяют 10 %-ный раствор хлористого натрия или калия. Молекулярная масса глобулинов достигает 100 тыс. Да. Эти белки, как и альбумины, обладают ферментативными свойствами. Глобулины широко распространены в растениях, а в семенах бобовых растений и масличных культур они составляют главную массу белка. Из глобулинов наиболее хорошо изучены *эдестин* семян конопли, *фазолин* – фасоли, *глицинин* – сои, *конглоцин* – люпина, *архин* – арахиса, *вицилин* – гороха, *кукурбитин* – тыквы, *туберин* из клубней картофеля.

Проламины – белки, которые растворяются в 70 %-ном растворе этилового спирта. Это так называемые спирторастворимые белки. Название "проламины" они получили вследствие того, что в их состав входит значительное количество иминокислоты пролина. Проламины характерны исключительно для семян злаков, где выполняют функции запасных белков: *глиадин* у пшеницы и ржи, *гордеин* – ячменя, *зеин* – кукурузы, *авеин* у овса. Молекулярная масса большинства проламинов составляет 26-40 тыс. Да.

Глютелины – белки, нерастворимые в воде, солевых растворах и этиловом спирте, но растворяющиеся в слабых растворах щелочей. Для их экстракции применяют 0,2 %-ный раствор NaOH. Глютелины содержат все незаменимые аминокислоты и являются полноценными продуктами питания. Глютелины пшеницы – это *глютеин*, риса – *оризенин*. Исследование белка зерна риса показали, что в нем преобладает щелочерастворимая фракция – оризенины, на долю которых приходится 67 % (табл. 12; Шеуджен А.Х., 1992).

Таблица 12 – Фракционный состав белка в зерне риса при некорневой подкормке микроудобрениями в фазу кущения растений, % от общего азота

Удобрение	Азот белковых фракций				Азот неизвлекаемого остатка
	альбумины	глобулины	проламины	оризенины	
Контроль	8,2	9,9	4,1	64,0	13,8
В	7,6	12,6	4,0	64,2	11,6
Со	6,4	9,4	3,5	71,2	9,5
Мо	7,4	12,2	2,9	64,9	12,6
Zn	6,6	9,5	4,0	69,4	10,5
Mn	6,0	9,2	3,8	71,4	9,6
Cu	7,9	8,7	5,0	66,0	12,4

Далее по количеству следует солерастворимая фракция – глобулины, составляющая 10 % суммарного белка. Примерно 7 % белкового комплекса зерна риса представлено водорастворимой фракцией – альбулинами. Самую незначительную часть в нем составляют спирторастворимые белки проламины, на долю которых приходится примерно 4 %. В составе белкового комплекса риса помимо выше перечисленных фракций находится 11 % азотистых веществ, не извлекаемых обменными растворителями.

На фракционный состав белка существенное влияние оказывают удобрения. Так, некорневая подкормка вегетирующих растений кобальтовыми, медными и молибденовыми удобрениями значительно стимулирует процесс накопления оризенинов и снижает долю альбуминов и нерастворимых белковых веществ в зерне риса. Эти микроудобрения заметного влияния на содержание глобулинов и проламинов не оказывают. Борные и марганцевые удобрения повышают количество глобулинов в белковом комплексе риса и снижают содержание в нем альбуминов и проламинов, но существенно не влияют на щелочерастворимую фракцию. Из изученных микроудобрений лишь цинковые стимулируют накопление проламинов в зерне риса, причем это происходит на фоне возрастания содержания оризенинов и снижения доли альбуминов, глобулинов и нерастворимых органических веществ.

Протамины – сильно основные, низкомолекулярные (молекулярная масса не превышает 12 тыс. Да.) белки. Они были открыты Мишером в 1868 г. в сперматозоидах, а их белковая природа была расшифрована Косселем в 1886 г.

Высокая щелочность протаминов объясняется большим количеством в них аргенина, гистидина и лизина, на долю которых приходится до 80 % общего содержания аминокислот в молекулах белков. В них отсутствуют серосодержащие аминокислоты. Протамины хорошо растворимы в воде и слабых кислотах. Они содержатся в половых клетках и составляет основную массу белка хроматина. Как и гистоны, протамины образуют комплекс с ДНК, придавая им химическую устойчивость. В растениях протамины обнаружены в пыльце.

Гистоны – низкомолекулярные щелочные белки, не имеющие четвертичной структуры. Но у них щелочность выражена слабее, чем у протаминов, т. к. содержат всего лишь 20-30 % основных аминокислот. Гистоны растворимы в слабых кислотах (0,2 н. HCl), осаждаются аммиаком, спиртом. Они локализованы у растений в ядре клетки, рибосомах, митохондриях. Количество преобладая среди белков хромосом, эти белки играют важную роль в структуре хроматинов. Гистоны прочно связаны с ДНК и входят в состав нуклеопротеидов. Основная их функция – регуляция передачи генетической информации с ДНК на РНК. Гистоны, выделенные из растительной ткани, могут быть разделены на пять фракций: Н1, Н2а, Н3б, Н3 и Н4. Гистоны, обозначаемые как Н2а, имеют молекулярную массу от 16600 до 19000 Да, а обозначаемые как Н2б – от 15300 до 19000 Да.

3.3.5.2. Протеиды

К группе протеидов, т. е. сложных белков относятся: 1) нуклеопротеиды (рибонуклеопротеиды, дезоксирибонуклеопротеиды); 2) хромопротеиды; 3) гликопротеиды; 4) фосфопротеиды; 5) липопротеиды; 6) металлопротеиды; 7) флавопротеиды (табл. 13; Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Прудникова Т.Н. и др., 2003).

Таблица 13 – Простетические группы сложных белков

Простетическая группа	Сложный белок
Атомы (ионы) металлов	Металлопротеиды
Фосфатные группы H_3PO_4	Фосфопротеиды
Хлорофилл	Хромопротеиды
Моно- и олигосахариды	Гликопротеиды
Триацилглицеролы и сложные липиды	Липопротеиды
Флавиннуклеотиды	Флавопротеиды
Рибонуклеиновые кислоты	Рибонуклеопротеиды (рибосомы)
Дезоксирибонуклеиновые кислоты	Дезоксирибонуклеопротеиды (хроматин)

Металлопротеиды содержат катионы одного или нескольких металлов. Чаще всего это – железо, медь, цинк, молибден, реже – марганец, никель. Белковый компонент связан с металлом координационной связью. К этой группе относятся в основном белки, обладающие ферментативными свойствами. Таковы каталаза, пероксидаза, аскорбиноксидаза, нитратредуктаза, карбоангидраза, полифенолоксидаза, цитохромы.

Дезоксирибонуклеопротеиды – соединения, молекула которых состоит из простого белка и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

Рибонуклеопротеиды – соединения, молекула которых состоит из простого белка и рибонуклеиновых кислот.

Фосфопротеиды – протеиды, в которых белок связан с фосфорной кислотой эфирной связью. К фосфопротеидам относятся белки, играющие важную

роль в питании молодых организмов. Это основной белок молока *казеин*, осаждающийся при створаживании, яичного желтка – *вителлин* и *фосвитин*, икры рыб – *ихтулин*.

Липопротеиды – сложные белки, простетическая группа которых образована жироподобными веществами – липидами. По строению это небольшого размера (150-200 нм.) сферические частицы, наружная оболочка которых образована белками, а внутренняя часть липидами и их производными. В составе липопротеидов обнаружены как полярные, так и нейтральные липиды. Эти белки широко распространены в природе, встречаются у всех представителей живых организмов. Они являются обязательными компонентами всех клеточных мембран, где их небелковая часть представлена, в основном, полярными липидами – фосфолипидами, гликолипидами.

Гликопротеиды – сложные белки, простетическая группа которых представлена углеводами и их производными. Исходя из химического строения углеводных компонентов, выделяют две группы гликопротеидов: 1) *истинные* – в качестве их углеводного компонента наиболее часто встречаются моносахариды; 2) *протеогликаны* – построены из очень большого числа повторяющихся единиц, имеющих дисахаридный характер (гиалуроновая кислота, гепарин, хондроитин, кератан-сульфаты). Основное различие между ними заключается в том, что углеводные группировки истинных гликопротеидов содержат обычно до 15–20 моносахаридных компонентов, не образующих повторяющихся олигосахаридных фрагментов, в то время как у протеогликанов они построены из очень большого числа повторяющихся единиц, в основном имеющих своеобразный дисахаридный характер.

Хромопротеиды – сложные белки, у которых небелковой частью являются окрашенные соединения – гем, принадлежащие к различным классам органических соединений: порфириновые структуры, флавинадениндинуклеотид (ФАД), флавинаденинмононуклеотид (ФМН). Порфириновое кольцо с координационно связанным с ним ионом железа входит как простетическая часть в состав ряда окислительно-восстановительных ферментов (каталаза, пероксидаза) и групп переносчиков электронов – цитохромов.

3.3.6. Идентификация и количественное определение белков

Для идентификации белков используют две группы специфических реакций: 1) *цветные реакции*; 2) *реакции осаждения*.

Среди первой группы реакций различают универсальные (биуретовая на пептидные связи и нингидриновая на α -аминокислоты) и специфические, обусловленные присутствием в белках остатков определенных аминокислот. Так, ксантопротеиновая реакция свидетельствует о наличии в белках остатков ароматических аминокислот, реакция Паули – гистидина и тирозина, Адамкевича и Вуазене – триптофана, нитропруссидная – цистеина, а реакция Сакагучи – аргинина.

Биуретовая реакция – сине-фиолетовое или красно-фиолетовое окрашивание при прибавлении к водному раствору белка щелочи и сернокислой меди. Эта реакция зависит от наличия в белках пептидных связей CO—NH.

Ксантопротеиновая реакция – появление желтого окрашивания при взаимодействии белка с концентрированной азотной кислотой. Эта реакция характеризует наличие в белках циклических аминокислот: тирозина, фенилаланина, триптофана.

Реакция Миллона – желто-красное окрашивание при нагревании белков с реактивом, состоящим из смеси азотнокислых и азотисто-кислых солей ртути в азотной кислоте ($\text{Hg}(\text{NI}_3)_2 + \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$). Реакция связана с наличием в белке фенильной группы тирозина.

Реакция Адамкевича и Вуазене – сине-фиолетовое окрашивание при прибавлении к белку раствора глиоксиловой кислоты в серной кислоте. Этот цвет обусловлен конденсацией альдегидной группы глиоксиловой кислоты с индольным кольцом триптофана.

Реакция Паули – появление красной окраски при прибавлении к белку диазотированной сульфаниловой кислоты в щелочном растворе.

Реакция Сакагучи – малиново-красное окрашивание при обработке белка сначала гипохлоритом натрия, а затем раствором β -нафтола. Эта реакция указывает на присутствие в белке гуанидиновой группы аргинина.

Во второй группе реакций белки осаждают действием солей, органических растворителей, концентрированных кислот, щелочей, ионов тяжелых металлов, температуры и в изоэлектрической точке. Белки в растворенном состоянии крайне неустойчивы, поэтому при добавлении спирта, ацетона или других органических растворителей, а также концентрированных растворов нейтральных солей щелочных металлов и воздействии физических факторов (нагревание, облучение, ультразвук) гидратная оболочка разрушается и они выпадают в осадок. Общая схема операций по выделению белков сводится к измельчению биологического материала (гомогенизации), экстрагированию и собственно выделению, т. е. очистке и получению белка в индивидуальном состоянии.

Для извлечения биологически активных белков используют **метод высаливания** – осаждение белков из раствора под действием солей щелочных и щелочноземельных металлов.

В практике выделения и очистки белков используются различные типы хроматографии: адсорбционная, распределительная, ионообменная и хроматография по сродству. **Адсорбционная** хроматография основана на различиях в полярности белков. В колонку вместе с буферным раствором упаковывают адсорбент, на который в небольшом объеме растворителя наносят исследуемый образец. Компоненты разделяемой смеси адсорбируются, затем элюируются с помощью буферного раствора с увеличивающейся концентрацией или полярностью. В **распределительной** хроматографии, в отличие от адсорбционной, в качестве неподвижной фазы выступает водный слой, удерживаемый твердой фазой (силикагель, бумага). Разделяемые вещества многократно распределяются между водным слоем и движущейся фазой растворителя и с разной скоростью перемещаются по длине колонки или бумаге.

Методом **ионообменной** хроматографии белки разделяют на основе различий в общем заряде молекул. Если белок в нейтральной среде (рН 7) имеет положительный заряд, то он связывается на колонке с ионообменником, содержащим фенольные, сульфо- и карбоксильные группы (катионообменник), если отрицательный, то – на колонке с ионообменником, представленным аминами или органическими основаниями (анионообменник).

Хроматография по сродству, т. е. аффинная хроматография, основана на принципе избирательного связывания белков со специфическими лигандами, прикрепленными к носителю. Лиганд (глюкозу) ковалентно присоединяют к носителю (проводят иммобилизацию) и наносят на колонку исследуемую белковую смесь. Несвязавшиеся белки удаляют раствором, содержащим лиганд в очень высокой концентрации.

Гель-фильтрация, или метод **молекулярных сит**, заключается в пропускании белков через колонку с гелем сефадекса или других типов (агарозных, полистирольных). Применяются также пористые стеклянные шарики и пористый кварц (порасил).

Принцип методов **электрофоретического** разделения заключается в способности молекул пептидов и аминокислот, находясь в заряженной форме в виде катионов (+) или анионов (-), передвигаться в электрическом поле с определенной скоростью. Кроме того, молекулы с близкими зарядами, но разных размеров, отличаются отношением заряда к массе.

Содержание белка в растениях обычно определяют по количеству азота с использованием метода Кьельдаля. Анализ включает перевод белкового азота в аммиак (путем кипячения с концентрированной серной кислотой в присутствии сульфата меди, сульфата ртути или другого катализатора), отгонку с паром образовавшегося аммиака из реакционной смеси и его количественное определение титрованием или колориметрированием при помощи реактива Несслера (щелочной раствор меркуриодида калия). Для перевода количества азота в содержание белка используют соответствующие коэффициенты, установленные для каждой культуры.

Разработаны и другие методы определения азота, такие как метод Дюма, нейтронно-активационный и с фенолятипохлоритом на приборе "Техникон". Принцип метода Дюма заключается в разложении органического соединения в атмосфере оксида углерода до газообразного состояния с последующим измерением объема азота. В нейтронно-активационном методе атомы азота образца бомбардируются нейтронами в ядерном реакторе с получением изотопа ^{13}N . Содержание белка рассчитывают по количеству гамма-лучей. Определение азота на приборе "Техникон" осуществляется колориметрическим способом, в котором измеряется интенсивность сине-голубой окраски, образующейся по реакции взаимодействия сульфата аммония, выделяющегося в процессе минерализации образца, со щелочным раствором фенола и гипохлорита.

В настоящее время широкое распространение получил метод инфракрасной спектроскопии, в основе которого лежит поглощение белками света с определенной длиной волны и измерение интенсивности его отражения в приборах анализаторах. Известны методы количественного определения белка, основанные на различной степени помутнения (нефелометрический метод), способности белков адсорбировать красители (кумасси синий R-250, амидочерный) и преломлять лучи света (по показателю преломления).

3.3.7. Проблема белкового дефицита на Земле

По данным ВОЗ и ФАО, суточная физиологическая потребность человека в белке составляет 60-100 г или 12–15 % от общей калорийности пищи. В общем количестве энергии на долю белка животного и растительного происхождения приходится по 6–8 %. В пересчете на 1 кг массы тела суточная потребность в белке взрослого человека в среднем составляет 1 г, тогда как для детей, в зависимости от возраста, она колеблется от 1,05 до 4,00 г. Рекомендуемые нормы потребления пищи для основных групп населения, выработанные российскими учеными-медиками, включают 73–120 г белка в сутки для мужчин и 60–90 г для женщин, в том числе белка животного происхождения 43–65 и 43–49 г соответственно. Нижняя граница относится к тем, чья деятельность не связана с физическим трудом, верхняя – к людям, испытывающим тяжелые физические нагрузки. В среднем, для взрослого мужчины в возрасте 30 лет необходимый уровень потребления белка в пересчете на азот равен 9,0–9,2 г в сутки на 1 кг массы тела. Потребность в белке для лиц, перенесших тяжелые инфекции, хирургические вмешательства, имеющих заболевания органов пищеварения, дыхания, увеличивается в среднем до 110–120 г в день, а в высокобелковой диете, например, у диабетиков его количество может достигать 135–140 г. Белок ограничивается до 20–40 г в сутки при заболеваниях, связанных с почечной недостаточностью, и подагре.

Сегодня в мире существует дефицит пищевого белка и недостаток его в ближайшие десятилетия, вероятней всего, сохранится. На каждого жителя Земли приходится около 60 г белка в сутки, при норме 70 г. Общий дефицит белка на нашей планете оценивается в 10–25 млн. т в год. Из 6 млрд. человек, живущих на Земле, приблизительно половина испытывают белковую недостаточность. Недостаток пищевого белка является не только экономической, но и социальной проблемой современного мира. Не во всех странах продукты животного происхождения доступны широким слоям населения. Поэтому наиболее реальным способом увеличения ресурсов пищевого белка остается повышение производительности растениеводства и животноводства на основе совершенствования технологий возделывания зернобобовых, масличных и злаковых культур, употребляемых как непосредственно в пищу, так и на корм скоту. Одним из важнейших и легко управляемых человеком элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур является система удобрения. Правильное применение удобрений дает возможность резко повысить урожайность и сбор растительных белков.

Потребность растений в элементах минерального питания в различные фазы вегетации неодинакова. Фосфор необходим растениям сразу после появления всходов, поэтому при невысоком его содержании в почве требуется внести в рядки гранулированный суперфосфат. Это ускоряет развитие корневой системы, что, в свою очередь, ведет к лучшему использованию питательных веществ и воды из почвы, а в конечном итоге способствует получению более высоких урожаев. Второй период наибольшего потребления фосфора растениями – фаза цветения-формирования товарного урожая, поскольку этот элемент играет большую роль в синтезе белка и высокомолекулярных соединений белкового комплекса.

Калий поглощается растениями на протяжении почти всего периода вегетации, наиболее же активно – до фазы цветения. Его присутствие активизирует жизненно важные процессы растительного организма и оказывает положительное влияние на содержание белка в растениеводческом урожае сельскохозяйственных культур.

Среди элементов питания ведущая роль в повышении содержания белка в растениях принадлежит азоту. Поступление его в ранние фазы вегетации расте-

ний должно быть умеренным, в более поздние фазы дозы его определяются биологическим потенциалом продуктивности сельскохозяйственных культур и формированием урожая высокого качества. Поздние азотные подкормки (трубкование, цветение) зерновых культур повышают содержание белка в урожае и более чем в $1\frac{1}{2}$ раза увеличивают количество сырой клейковины. Последний, как известно, определяет хлебопекарные свойства муки. **Сырая клейковина** – это белковый сгусток, оставшийся на сите при отмывании водой теста, замешанного из муки. Она состоит на $\frac{2}{3}$ из воды и $\frac{1}{3}$ из сухого вещества, представленного, как правило, труднорастворимыми белками. По качеству клейковину делят три группы: I – хорошая, II – удовлетворительная и III – неудовлетворительная. В зависимости от содержания клейковины мягкую пшеницу делят на: 1) сильную, содержащую не менее 14 % белка и не менее 28 % сырой клейковины; 2) среднюю – 14 % белка, 25 % клейковины II-ой группы; 3) слабую – менее 25 % клейковины. Кроме азота, фосфора и калия растения потребляют кремний, кальций, магний, серу, железо, а также микро- и ультрамикроэлементы, роль которых в формировании белкового комплекса чрезвычайно велика.

Необходимо отметить, что удобрения оказывают влияние не только на количественное содержание белков в растениях, но и вызывают в них более глубокие изменения. Под влиянием применения тех или иных удобрений изменяется качественный состав белков и содержание свободных аминокислот в растениях.

Наибольший сбор белка, особенно лизина, дают посевы сои, нута, чечевицы, гороха, люпина. Однако бобовые культуры, используемые непосредственно в пищу, не являются традиционными для многих народов, к тому же трудно достичь высоких урожаев и расширения площадей посева этих культур в силу особенностей почвенно-климатических условий выращивания и применения агротехнических мероприятий. Поэтому ликвидация дефицита белка в питании человека путем совершенствования системы удобрения всех без исключения сельскохозяйственных культур остается одной из насущных проблем на современном этапе развития человеческой цивилизации. Однако необходимо признать, что дальнейшее наращивание продовольственного фонда все же ограничено.

По данным ЮНЕСКО, к 2050 г. население Земли достигнет 11 млрд. человек. Есть опасение, что традиционное сельскохозяйственное производство не в состоянии будет обеспечить соответствующий рост продовольствия. Методы селекции и методика слияния протопластов, хотя и позволяют получить новые генотипы растений, но требуют много времени и далеко не всегда приводят к улучшению хозяйственно-ценных признаков. Иначе говоря, традиционные методы селекции растений не в состоянии быстро решить все прогрессирующую с ростом народонаселения нашей планеты проблему белкового дефицита. В решении данной проблемы в последние два десятилетия важное место отводится методам генной инженерии. Сущность этих методов заключается в переносе генов любого организма в клетку реципиента для получения растений с рекомбинированными генами, а, следовательно, и с новыми полезными свойствами. Важным преимуществом растений по сравнению с животными является способность их клеток и протопластов развиваться в целое растение – **тотипотентность**. Растения, полученные методом генной инженерии, называются **трансгенными**, а продукты их переработки – трансгенными продуктами. Генетическая трансформация растений может осуществляться **векторным способом**, т. е. с использованием агробактерий и вирусов, либо путем **прямого переноса генов**. Она включает выделение чужеродного гена ДНК, получение гибридных, т. е. рекомбинированных моле-

кул ДНК и введение их в живые клетки модифицируемого растения для получения новых признаков организма.

В настоящее время наиболее интенсивно проводятся работы с такими сельскохозяйственными культурами как соя, пшеница, кукуруза, томаты, сахарная свекла, хлопчатник, рапс. Как известно, у злаков наибольшую ценность представляют белки, запасаемые в эндосперме, которые, однако, имеют несбалансированный для питания человека и животных аминокислотный состав; они бедны лизином, триптофаном и метионином. Обеднены метионином и запасные белки бобовых культур. Введение дополнительных кодонов лизина в гены запасных белков (проламинов) злаков могло бы скорректировать аминокислотный состав зерна. В настоящее время охарактеризованы десятки генов запасных белков злаков и бобовых культур. В частности уже клонированы гены запасных белков: гордеинов ячменя, глиадинов и глютелина пшеницы, зеинов кукурузы и оризенинов риса. Трансформация пшеницы модифицированным геном, кодирующим одну из субединиц запасного белка глютелина, привела к активному синтезу модифицированного белка, что способствовало улучшению хлебопекарного качества пшеничной муки. Практические разработки по возделыванию трансгенных растений уже сейчас внедрены во многих странах мира, увеличиваются площади под трансгенной соей, рисом, картофелем и ягодными культурами (малина, клубника). С генетически измененной соей только в США выпускается около 3000 пищевых продуктов: супов, рыбных консервов, детских каш, соусов. Следовательно, методы генной инженерии могут сыграть важную роль в ликвидации белкового дефицита.

Потребление генетически модифицированных продуктов находится под контролем специальных органов, т. к. введение в организм растений генов, ответственных за синтез белков, включает в себе определенную опасность употребления в пищу продуктов питания, вызывающих у отдельной группы людей пищевую аллергию. Это может быть связано с появлением антиаллергенных и токсичных веществ, определяемых свойствами переносимых генов. Кроме того, при условии пересадки генов из микроорганизмов может синтезироваться белок с низкой усвояемостью.

Необходимо отметить, что подходы к оценке безопасности и качества генетически модифицированных объектов в различных странах разные как по содержанию, так и объему, но во всех – разрабатываются специальные методы и критерии. Так, в России принят закон "О государственном регулировании в области генной инженерной деятельности" и создана специальная Комиссия во главе с главным санитарным врачом РФ, задача которой состоит в разработке подзаконных актов и методик для контроля общей безопасности трансгенных продуктов.

3.4. Углеводы

Углеводы играют очень важную роль в жизни растений. Являются основными промежуточными продуктами ряда биохимических циклов превращения веществ и входят в состав многих соединений, обнаруживаемых в растениях.

И.А. Дудка, 1984

Углеводы – класс органических соединений, которые содержат одновременно гидроксильные и карбонильные группы – альдегидспирты и кетоспирты. Молекулярная масса углеводов лежит в пределах от 0,1 до 1 тыс. кДа. Термин "углеводы" был предложен в 1844 г. К. Шмидтом. Назва-

ние отражает тот факт, что водород и кислород присутствует в молекулах этих веществ в том же соотношении, что и в молекуле воды. Первые исследованные автором представители этого класса имели эмпирическую формулу $(\text{CH}_2\text{O})_n$, где $n \geq 3$. Однако по мере открытия новых углеводов обнаружили, что не все они удовлетворяют этой формуле: в состав некоторых из них углерод, водород и кислород входят в иных соотношениях, например, дезоксигексозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$), а иногда присутствуют азот, сера, фосфор. В то же время отдельные представители других классов обладают такой же формулой, например уксусная кислота CH_3COOH . Однако название "углеводы" сохранилось, хотя химического смысла оно не имеет.

Углеводы наряду с белками – наиболее распространенные органические соединения, участвующие в построении клетки и используемые в процессе ее жизнедеятельности. Они встречаются в свободной или связанной форме в любой растительной, животной или бактериальной клетке. В растениях на их долю приходится 80–90 % сухой массы. Углеводы являются теми продуктами, которые образуются в зеленом растении из диоксида углерода и воды за счет энергии солнечного света и дают начало органическим веществам живых организмов. Согласно самым приблизительным подсчетам, ежегодно на Земле в процессе фотосинтеза образуется более 100 млн. т углеводов. У растений углеводы накапливаются в большом количестве в корнях, клубнях, семенах, в качестве запасных веществ; стенки клеток растений и растительные волокна состоят главным образом из углеводов; в плодах и ягодах также преобладают углеводы. К углеводам относятся крахмал, клетчатка, сахара, пектиновые вещества и другие широко распространенные соединения растительного происхождения. Содержание углеводов в растениях зависит как от вида, так и от условий их выращивания (табл. 14; Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Корсунова М.И. и др., 2004).

Таблица 14 – Содержание углеводов в урожае сельскохозяйственных культур

Культура	Содержание, %	Культура	Содержание, %
Пшеница	67,5	Соя	34,0
Рожь	70,3	Подсолнечник	45,0
Овес	65,0	Картофель	17,8
Ячмень	70,5	Сахарная свекла	20,4
Рис	78,6	Лук репчатый	12,8
Кукуруза	68,0	Клевер (зел. масса)	16,0
Горох	58,4	Ежа сборная (зел. масса)	20,5
Фасоль	62,0		

Углеводы – главные продукты питания населения и основная часть кормов сельскохозяйственных животных. Углеводы находят также широкое техническое применение. Хотя в организмах животных и человека, содержится всего лишь 2 % углеводов, но значение их велико для всех живых организмов. Здесь углеводы подвергаются окислительным превращениям, за счет чего выделяется энергия, используемая клетками. В сутки взрослому человеку необходимо около 500 г углеводов, которые при сгорании до конечных продуктов, т. е. до углекислого газа и воды, выделяют около 2 тыс. ккал.

3.4.1. Функции углеводов

Биологическое значение углеводов чрезвычайно велико. Их функции в живых организмах важны и многообразны. Различают следующие функции: энергетическая, пластическая, защитная, опорная, регуляторная, запасная.

Энергетическая функция. Углеводы являются носителями и хранителями химической энергии в клетке. Окисляясь в процессе дыхания, они выделяют заключенную энергию и обеспечивают значительную часть потребности в ней организма. При окислении 1 г углеводов в организме образуется 16,7 кДж, или 4 ккал энергии. Углеводы обеспечивают примерно 65–70% суточного энергопотребления организма.

Пластическая функция. Углеводы необходимы для биосинтеза органических и нуклеиновых кислот, а из них – аминокислот, белков, липидов. Они используются для синтеза гомо- и гетерополисахаридов – обязательных структурных компонентов соединительных тканей. Так, соединительная ткань содержит мукополисахариды, в состав которых входят углеводы и их производные, поэтому углеводы, бесспорно, можно рассматривать как пластический материал.

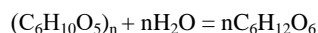
Защитная функция. Углеводы – основные компоненты растительных тканей, они участвуют в построении наружного скелета насекомых и ракообразных, в образовании клеточных стенок растений и клеточных мембран всех живых организмов. Углеводы предохраняют организм от разрушительного воздействия внешней среды и чужеродных ферментов. Именно углеводный компонент органического происхождения определяет устойчивость растений к повреждению болезнями и вредителям. Большую роль углеводы выполняют в организме человека и животных, особенно в процессах, протекающих в печени. Так, глюкуроновая кислота соединяется с некоторыми токсическими веществами, образуя нетоксические сложные эфиры, которые, благодаря растворимости в воде, удаляются из организма с мочой.

Опорная функция. Полисахариды клеточных стенок растений не только защищают клетки от внешних воздействий, но и образуют прочный остов растения, его механические опорные ткани. Именно целлюлозный компонент органического происхождения обеспечивает устойчивость растений к полеганию. В комплексе с белками углеводы входят в состав хрящевых тканей (хондроитинсульфаты) и других соединительных образований, выполняющих опорные функции у человека и животных.

Регуляторная функция. Регуляторные функции углеводов разнообразны. Взаимопревращения крахмала и сахаров в замыкающих клетках устьиц растений регулируют движение последних, т. е. их замыкание и раскрытие. Моносахариды играют существенную роль в регуляции осмотических процессов у растений.

Наличие углеводных меток на поверхности клеток позволяет живому организму отличать свои клетки и макромолекулы от чужих. Многие углеводы входят в состав нуклеиновых кислот, играющих важную роль в передаче наследственной информации у всех живых организмов на Земле. Они противодействуют накоплению в организме кетонных тел при окислении жиров. Так, при нарушении обмена углеводов, например, при сахарном диабете, развивается ацидоз. Клетчатка, вызывая механическое раздражение кишечника, способствует его перистальтике (сокращению) и тем самым улучшает пищеварение.

Запасная функция. Углеводы способны откладываться в растениях в виде крахмала, инулина и фруктозанов. Крахмал образуется в процессе фотосинтеза в хлоропластах (первичный крахмал). В клетках этот полисахарид легко переходит в сахар, а сахар – в крахмал. Из листьев сахара транспортируются в другие органы, превращаются в иные органические вещества или откладываются в запас в лейкопластах в виде вторичного крахмала. Инулин – запасное питательное вещество растений из семейства Астроцветные. Накапливается оно в основном в подземных органах и содержится в большом количестве в клубнях земляной груши, георгина, в корнях одуванчика, кок-сагыза, цикория, артишока, в корнях, листьях и стеблях каучуконосного растения гваюлы (*Parthenium argentatum*). В этих растениях инулин заменяет крахмал. Инулин находится в клеточном соке в виде коллоидного раствора. При его гидролизе образуется фруктоза:



При взаимодействии со спиртом инулин выпадает в виде сферокристаллов.

В организме человека и животных углеводы могут откладываться в виде гликогена. Так, в печени регулярно питающегося животного может накапливаться гликоген до 10% от массы ткани; содержание его при голодании снижается до 0,2%.

3.4.2. Строение и классификация углеводов

Углеводы подразделяются на три группы: 1) моносахариды; 2) олигосахариды; 3) полисахариды.

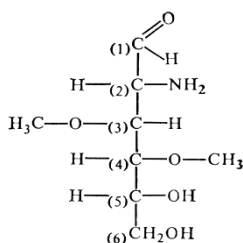
3.4.2.1. Моносахариды

Моносахариды – это простые сахара. К ним относятся углеводы и их производные, которые не способны расщепляться без потери основных углеводных свойств. Эмпирическая формула моносахаридов может быть выражена так: $(CH_2O)_n$, где $n = 3–9$. В зависимости от числа

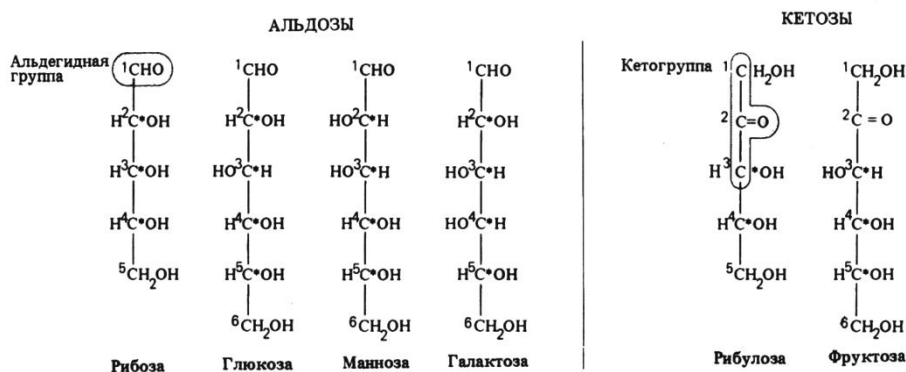
атомов углерода в молекуле среди моносахаридов различают триозы (3C), тетрозы (4C), пентозы (5C), гексозы (6C), гептозы (7C), октозы (8C) и нозы (9C). В природе наиболее часто встречаются пентозы и гексозы. В молекулах моносахаридов ко всем атомам углерода, за исключением одного, присоединены гидроксильные группы. Этот один атом углерода входит в состав либо альдегидной группы, либо кетогруппы (оксогруппы). Моносахариды, содержащие альдегидные группы, получили название альдоз, а кетонные группы – кетоз. Поэтому любой моносахарид представляет собой либо альдозу, либо кетозу. Простейшими моносахаридами являются триозы – глицеральдегид и дигидроксиацетон. Глицеральдегид содержит альдегидную группу, а дигидроксиацетон – кетогруппу. Поэтому все другие альдозы и кетозы можно рассматривать как производные соответственно глицеральдегида или дигидроксиацетона:



Для обозначения разнообразных производных моносахаридов нумеруют атомы углерода, начиная от альдегидной группы или с того конца, к которому ближе кетогруппа. Положение заместителей, а также тот атом, к которому присоединен заместитель, если он не связан непосредственно с углеводом, указывают цифрой. Например: 2-дезоксидезокси-2-амино-3,4-ди-О-метилглюкоза:



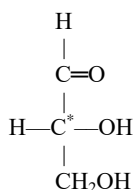
Важная структурная особенность моносахаридов – это свойственная им изомерия. Если два разных вещества отвечают одной и той же эмпирической формуле, то их называют **изомерами**. Различают два основных вида изомерии: 1) структурную и 2) стереоизомерию. **Структурная изомерия** обуславливается различным порядком связей между атомами или группой атомов в формуле. Так, все гексозы, отвечающие эмпирической формуле $C_6H_{12}O_6$: глюкоза, манноза, галактоза и фруктоза, – являются по отношению друг к другу структурными изомерами:



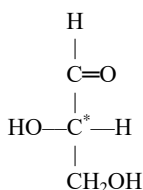
Приведенные линейные структурные изомеры гексоз называются **формулами в проекции Эмиля Фишера**. Выделенные звездочкой атомы углерода являются хиральными, или асимметрическими. **Хиральным**, или **асимметрическим** называется атом углерода, соединенный с четырьмя различными заместителями. Вещества, в составе которых есть асимметрические атомы углерода, обладают **стереоизомерией**, т. е. существуют в двух энантиомерных формах: D и L.

Принадлежность моносахарида к D- или L-ряду определяется по расположению OH-группы у последнего (считая от альдегидной или кетогруппы) хирального атома углерода. Если она расположена справа от углеродной цепи, то молекулу относят к D-ряду, если слева – к L-ряду.

Родоначальниками D- и L-ряда принято считать D- и L-глицериновые альдегиды:



D-глицериновый альдегид



L-глицериновый альдегид

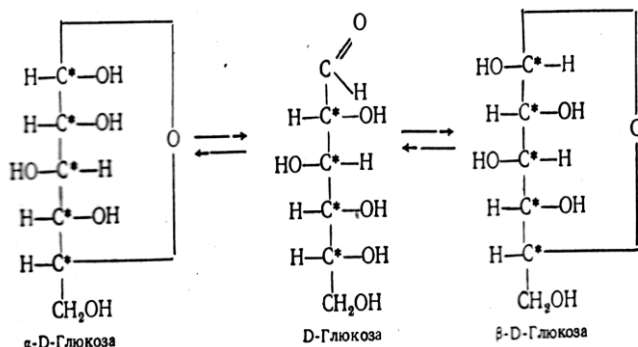
Вещества, которые можно получить из D-глицеринового альдегида путем надстройки углеводной цепи со стороны альдегидной группы, принято относить к D-ряду. Аналогичное положение применяют и к L-ряду. При любой надстройке цепи остается неизменной группировка двух "нижних" C-атомов глицеринового альдегида.

В отличие от аминокислот в растениях содержатся, как правило, только D-формы углеводов; L-формы встречаются крайне редко. Растения синтезируют и могут усваивать также главным образом только D-формы углеводов. Видимо, еще на ранних стадиях эволюции у них сложилось предпочтение в пользу D-изомеров углеводов.

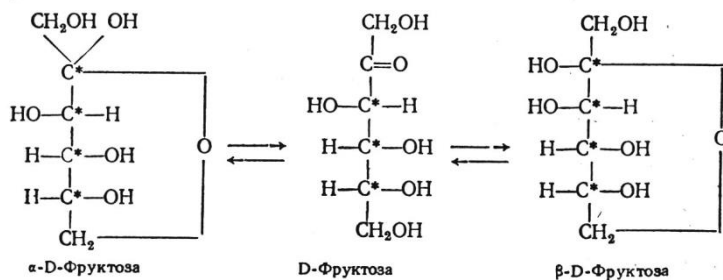
Моносахариды способны вращать плоскость поляризованного света или вправо (*правовращающие*), или влево (*левовращающие*). Правовращающие углеводы обозначают знаком (+), а левовращающие – знаком (-). Знак удельного вращения не всегда совпадает с принадлежностью углеводов к D- или L-ряду, поэтому могут быть D(+)- и D(-), а также L(+) и L(-)-формы. С увеличением общего числа атомов углерода растет число хиральных атомов углерода. В общем, виде число возможных стереоизомеров составляет 2^n , где n – число хиральных атомов. Например, альдогексоза общей формулы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ с четырьмя асимметрическими атомами может быть представлена любым из 16 возможных стереоизомеров, восемь из которых относятся к D-ряду, и столько же – к L-ряду. D- и L-изомеры каждой из восьми пар энантиомеров альдогексоз имеют одинаковые химические и физические свойства и отличаются только направлением вращения плоскости поляризованного света.

Предложенные Э. Фишером формулы сахаров с прямой углеродной цепью удобны для изображения изомерных форм и демонстрации общих свойств моносахаридов. Однако они не отражают всех свойств этих соединений. Так, если наблюдать удельное вращение водных растворов моносахаридов, то обнаруживается, что оно начинает изменяться сразу же после растворения сахара, достигая лишь через определенное время постоянного значения. Это явление, т. е. изменение величины удельного вращения при растворении моносахаридов в воде, получило название *мутаротации*. Наш соотечественник М. А. Колли объяснил это явление существованием циклического строения молекулы углеводов, в которых число асимметрических углеродных атомов на один больше, чем в формулах с прямой углеродной цепью. Эта рабочая гипотеза М. А. Колли впоследствии экспериментально подтверждена немецким химиком Б. Толленсом.

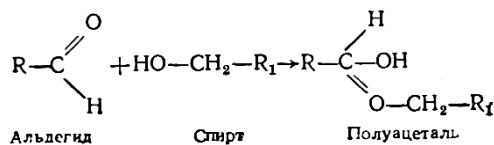
В настоящее время установлено, что в природе только небольшая часть молекул пентоз и гексоз содержит открытую цепь, большинство молекул находится в виде циклических структур. Так, в растворах D- глюкоза существует в трех взаимопревращающихся формах, две из которых циклические:



Аналогичные взаимопревращения трех форм установлены также для других моносахаридов, в том числе и для D фруктозы:



Как видно из приведенных выше формул, при образовании циклических форм альдозы у нее становится асимметрическим также первый углеродный атом, а у кетозы – второй. Образование последних становится понятным, если вспомнить, что четыре ковалентные связи углерода образуют тетраэдр, поэтому углеродная цепь не представляет собой прямую, а существенно изогнута, что способствует взаимодействию между карбонильной и гидроксильной группами с образованием цикла. Такая реакция характерна для всех моносахаридов с числом углеродных атомов больше четырех. При замыкании молекулы моносахарида в цикл происходит внутримолекулярная реакция образования *полуацеталя* или *полукеталя*:



В процессе образования внутримолекулярного полуацеталя или полукеталя в молекуле пентоз и гексоз появляется еще один хиральный центр и новая пара изомеров (α - и β -формы), которые называют *аномерами* (от греч. *ано* – верхний, карбонильные группировки в формулах моносахаридов располагаются вверху). Аномерные пары отличаются по расположению в пространстве заместителей только у аномерного углеродного атома, поэтому их можно рассматривать как частный случай эпимеров. Аномерные α - и β -формы различают по расположению полуацетального (или полукетального) гидроксила и гидроксила последнего хирального атома углерода. Превращение открытой формы моносахарида в циклическую сопровождается образованием кислородного "мостика" (рис. 20; Каманина М.С., Леонтьева А.Н., 1986). У глюкозы он образуется между 1-м и 5-м углеродными атомами, а у фруктозы – между 2-м и 6-м.

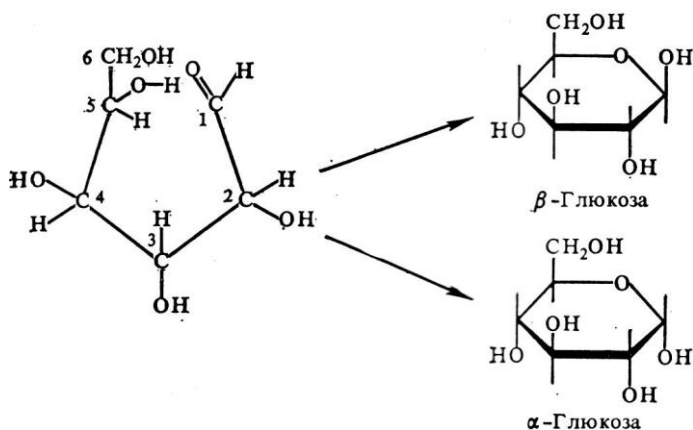
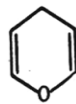


Рис. 20 – Образование циклических структур

В зависимости от того, гидроксильная группа какого из углеродных атомов принимает участие в образовании полуацеталя или полукеталя, могут получаться пятичленные (из четырех атомов С и одного атома О) или шестичленные циклы (из пяти атомов С и одного атома О).

Эти структуры называются соответственно *фуранозными* или *пиранозными* по аналогии с известными органическими соединениями – фураном или пираном:



Для моносахаридов ряда пентоз обычно характерен фуранозный цикл, в то время как большинство гексоз находится в пиранозной форме. Образование семичленных колец у гексоз наблюдается редко из-за значительного напряжения связей в таком цикле.

Образование моносахаридами циклических форм объясняет "аномалии" в их поведении как альдегидов или кетонов.

1. В циклической форме у сахаров нет свободной карбонильной группы, поэтому они не дают некоторые цветные реакции на альдегиды.

2. Полуацетальный и полукетальный гидроксилы в отличие от других гидроксильных в молекуле сахара образуют со спиртами легкогидролизуемые простые эфиры.

3. Энантиомерные формы D- и L- каждого моносахарида существуют в виде α - и β -изомеров, поэтому образуется не два, а четыре ряда производных.

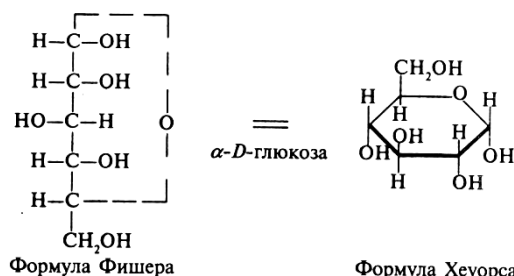
4. Аномерные формы α - и β - моносахаридов, обладающие разной величиной оптического вращения, в процессе растворения в воде взаимно переходят друг в друга, поэтому удельное вращение меняется до установления равновесия. В результате чего в первое время после растворения обнаруживается много значений удельного вращения, отсюда название явления – мутаротация или мултиротация (от лат. *multirotatia* – много вращений).

Английский химик В. Хеурс (1927) предложил способ изображения циклических форм углеводов, наиболее точно отражающий реальные структуры. Пяти- и шестичленные циклические структуры изображаются при этом в виде плоских циклических систем, гидроксильные группы у каждого атома углерода которых ориентированы либо вверх, либо вниз. Если гликозидный гидроксил расположен под плоскостью пиранозного или фуранозного кольца, то моносахариды находятся в α -форме, если же гликозидный гидроксил расположен над плоскостью кольца, то образуются β -формы сахара. На практике используют упрощенную форму написания формулы в проекции В. Хеурса, опуская углеродные атомы в составе кольца. Для преобразования формул D-монозы в проекции Фишера в формулу Хеурса следует придерживаться определенных правил:

1. Все группы, расположенные справа от углеродного остова в формулах Фишера, в формулах Хеурса занимают положение под плоскостью кольца.

2. Располагают все группы, находящиеся в формулах Фишера слева от углеродного остова, над плоскостью кольца (вверх).

3. Концевую группу – CH_2OH в формуле Хеурса направляют вверх:



В одном растворе линейные и циклические формы моносахаридов существуют одновременно и способны самопроизвольно превращаться друг в друга. Такие изомерные формы называются *кольчатоцепными таутомерами*. Преобладают, как правило, циклические изомеры полисахаридов; они используются организмами для построения олиго- и полисахаридов, мононуклеотидов и других молекул. Через линейную форму происходит переход α -формы в β -форму.

Циклическая формула В. Хеурса не позволяет судить о трехмерной структуре, или конформации, моносахаридов. Имея в цикле атом кислорода и несколько асимметрических углеродных атомов, пиранозное кольцо может существовать в виде восьми более стойких конформаций. Часть из них имеет форму "лодки", часть – "кресла" (рис. 21; Каманина М.С., Леонтьева А.Н., 1986).

"Кресло" является более жесткой, устойчивой конформацией, а форма "лодки" и все ее варианты более подвижны.

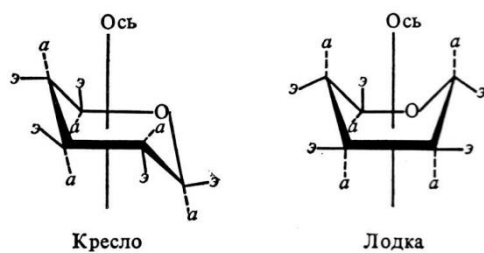


Рис. 21. Конформации пиранозного кольца:
а – аксильная связь, э – экваториальная связь

Свободные моносахариды составляют лишь незначительную часть всех углеводов. В большинстве случаев они встречаются в сочетании с олиго- и полисахаридами или в сочетании со спиртами и фенолами. Два компонента соединяются через аномерный углеродный атом благодаря кислородному мостику, возникающему при удалении воды. Связь, соединяющая два компонента, называется *гликозидной*. Иногда два компонента соединяются через атом азота или серы.

3.4.2.2. Олигосахариды

Олигосахариды представляют собой олигомеры моносахаридов, связанных между собой посредством гликозидных связей. В эту категорию включают углеводы, содержащие от двух до десяти мономерных звеньев. *Гликозидная связь* – это эфирная связь, формирование которой сопровождается высвобождением молекулы воды (рис. 22).

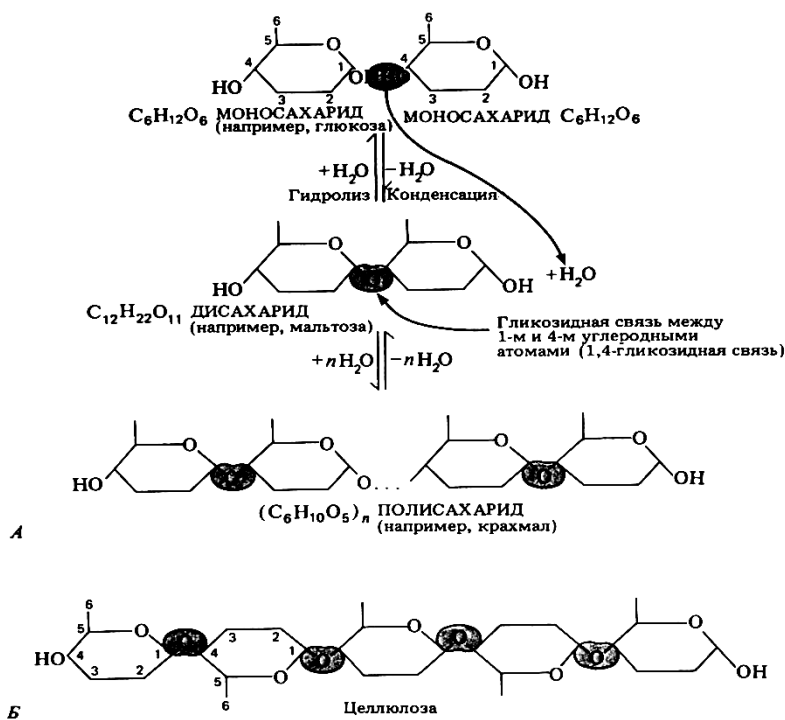


Рис. 22. Образование олиго- и полисахаридов

Существуют разные способы образования гликозидных связей. В линейных олиго- и полисахаридах она создается между атомом С1 одного сахарного остатка и либо третьим, либо четвертым углеродным атомом следующего остатка; при этом оба сахара, как правило находятся в С1 –

(экваториальной) конформации, т. е. массивные ОН-группы параллельны плоскости сахарного кольца и направлены в стороны. Гликозидные связи обозначаются следующим образом: β (1 \rightarrow n) – это связь между атомом кислорода при атоме С 1 в β -положении и углеродом n следующего сахара; в образовании связи α (1 \rightarrow n) участвуют те же углеродные атомы, но теперь атом кислорода при С 1 занимает α -положение. Наиболее часто встречаются гликозидные связи β (1 \rightarrow 4) и β (1 \rightarrow 3), например, – целлюлоза и гемицеллюлоза растений, а также α (1 \rightarrow 4) и α (1 \rightarrow 6), например, крахмал растения и гликоген животных. Довольно редки связи типов 2 \rightarrow 1 и 2 \rightarrow 6; они обнаружены в таких соединениях, как фруктаны, содержащиеся в некоторых растениях.

В зависимости от числа молекул моносахаридов, входящих в состав олигосахаридов, различают дисахариды, три-, тетра-, пента-, гексо-, гепто-, окто-, ноно-. По составу моносахаридных остатков их делят на: 1) гомоолигосахариды – содержащие одинаковые мономеры и 2) гетероолигосахариды – содержащие разные звенья моносахаридов. По строению молекулы олигосахаридов могут быть разветвленными или линейными.

Единого подхода к построению номенклатуры олигосахаридов не существует. Для восстанавливающих олигосахаридов за основу названия принимается моносахаридный остаток со свободным полуацетальным гидроксилом, а все связанные с ним звенья считаются заместителями. Места замещения и конфигурация связанных моносахаридов указываются. У невосстанавливающих сахаров все соединения рассматриваются как гликозиды. Существует и другая номенклатура, согласно которой названия звеньев записывают подряд. Между звеньями ставят стрелку и цифры, указывающие, какие именно атомы соседних остатков соединены. И в том, и в другом случае окончание **-оза** в названиях моносахаридов меняется у моносахаридов-заместителей на **-ил**, а у моносахаридов, принятых за основу названия, – на **-ид**, если остаток не содержит свободного полуацетального гидроксила. Если же таковой имеется, то остается окончание **-оза**. Существует и краткая система обозначения строения олигосахаридов. Каждый моносахаридный остаток обозначают двумя–тремя латинскими буквами. Конфигурацию (D или L) и характер кольца также обозначают буквами (p-пираноза, f-фураноза). Цифрами указывают атомы, через которые осуществляется связь, а стрелкой – направление этой связи. На практике чаще употребляют тривиальные названия олигосахаридов, указывающие происхождение и свойство данного олигосахаридов, с окончанием **-оза**.

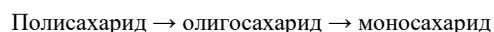
Ниже приводятся тривиальные названия некоторых олигосахаридов и их наименования по трем перечисленным номенклатурам:

- Лактоза 1) 4-О-(β -D-галактопиранозил)-D-глюкопираноза;
- 2) β -D-галактопиранозил-(1 \rightarrow 4)-D-глюкопираноза;
- 3) β -D-Galp (1 \rightarrow 4)-Glp;
- Сахароза 1) 2-О-(α -D-глюкопиранозил)- β -D-фруктофуранозил;
- 2) α -D-глюкопиранозил-(1 \rightarrow 2)- β -D-фруктофуранозил;
- 3) α -D-Glp (1 \rightarrow 2)- β -D-Fruf.

3.4.2.3. Полисахариды

Полисахариды – высокомолекулярные углеводы, в состав которых входят более 10 моносахаридных участков. Внешне они резко отличаются от моно- и олигосахаридов, имеют аморфную структуру, не растворяются в воде или образуют коллоидные растворы, не обладающие сладким вкусом.

Гидролиз полисахаридов в присутствии кислот или специфических ферментов протекает по схеме:



С точки зрения функционального значения полисахариды делятся на две основные группы. Первая группа несет главным образом **структурную** функцию. Важнейший представитель этой группы – целлюлоза. Вторая – представлена биополимерами (крахмал, гликоген), выполняющими **резервные** функции. Эти молекулы играют в основном роль депо и могут быть легко мобилизованы путем превращения в моносахариды, претерпевающие затем дальнейшие превращения в ходе обмена веществ. С точки зрения общих принципов строения полисахариды также делятся на две группы, а именно на **гомополисахариды** и **гетерополисахариды**. Первая группа характеризуется наличием в составе молекулы только одного вида моносахарида. Связи между отдельными звеньями могут быть при этом различными. Для второй группы характерно наличие различных типов мономерных звеньев. По характеру полигликозидной цепи полисахариды могут быть линейными и разветвленными. По источнику выделения различают: **зоогликаны**, **фитогликаны** и **полисахариды микробов**.

Систематической номенклатуры полисахаридов не существует. В большинстве случаев применяют рациональный принцип: за основу берется название основного моносахарида и

окончание **-оза** заменяется окончанием **-ан**. Например: D-глюкан (состоит из остатков глюкозы, L-арабинозы) и D-галактаны (состоят из остатков L-арабинозы и D-галактозы). В отдельных случаях используют и другие названия. Так, полимеры уроновых кислот называют полиуронидами, полисахариды, сопровождающие целлюлозу – гемицеллюлозами. Для многих представителей применяют давно возникшие названия: крахмал, гликоген, гепарин, хондроитин. Полисахариды имеют первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры.

Первичная структура полисахаридов. Образуется в результате поликонденсации одного или нескольких различных моносахаридов в линейные или разветвленные цепи. Линейные цепи характерны для целлюлозы и других структурных полисахаридов, разветвленные – для амилопектина и других запасных полисахаридов. Амилозу с ее линейной молекулой можно считать промежуточным продуктом синтеза амилопектина. Разветвленные цепи характерны также для пектина и гемицеллюлоз. В отличие от первичных структур белков, цепи полисахаридов состоят из повторяющихся звеньев, тогда как цепи аминокислот в белках почти не имеют поворотов. Кроме того, цепи полисахаридов могут быть разветвленными, у белков разветвления полипептидной цепи нет.

Вторичная структура полисахаридов. Также может быть линейной, похожей на β -слои белков (целлюлоза) и спиральной. Спиральные структуры характерны для многих полисахаридов. Встречаются несколько разновидностей спиральной организации:

- левая одинарная спираль с шестью моносахаридными остатками на виток (у амилозы);
- левая двойная спираль с тремя остатками на виток (у агарозы);
- левая двойная спираль с шестью остатками на виток (возможна у амилозы и линейных участков амилопектина);
- правая тройная спираль с шестью остатками на виток (у ксилана).

Третичная структура полисахаридов. Это:

1. Жесткие волокна свернутых двухцепочечных лент у целлюлозы.
2. Гибкие волокна из тройных спиралей у ксилана.
3. Сложноразветвленные компактные структуры глобулярной формы у амилопектина, гликогена, декстранов. Они состоят из спиралей амилозы и разветвленных цепей, аналогичных амилопектину.
4. Сложноразветвленные рыхлые неупорядоченные структуры, характерные для гемицеллюлоз и протопектинов.
5. Пространственно-сетчатые рыхлые структуры из множества спиралей у растворимых пектинов, агар-агаров, альгина, камедей.
6. Пространственно-неупорядоченные подвижные структуры у гиалуроновой кислоты. Связи между спиральями у нее непрочны, легко нарушаются и восстанавливаются, образуя гелеобразную структуру.

Четвертичная структура полисахаридов представляет собой образования кристаллических областей в структуре целлюлозы, а также в зернах крахмала, состоящих из глобул амилопектина и спиралей амилозы.

3.4.3. Физические и химические свойства углеводов

Физические свойства. Моносахариды – бесцветные кристаллические вещества, хорошо растворимые в воде, диметилформамиде, диметилсульфоксиде, сладкие на вкус, при нагревании разлагаются т. е. карамелизируются.

Олигосахариды представляют собой твердые вещества или некристаллизующиеся сиропы. Большинство из них растворимы в воде, низших спиртах и диметилсульфоксиде. С увеличением молекулярной массы растворимость в воде уменьшается. Восстанавливающие олигосахариды в растворе представляют собой смесь таутомеров и так же, как моносахариды, кристаллизуются в виде одного аномера. Олигосахариды могут плавиться, но, как правило, с разложением.

Полисахариды имеют аморфную структуру, не обладают сладким вкусом. Полисахариды, как правило, хорошо растворимы в воде, так как в связи с наличием большого числа гидроксильных групп являются сильнополярными соединениями. Однако у некоторых соединений, обладающих стереорегулярной и линейной структурой, образуются межмолекулярные водородные связи, что препятствует растворению таких веществ в воде.

Химические свойства. Присутствие нескольких различных функциональных групп, способность к таутомерным превращениям делают моносахариды реакционноспособными лабильными соединениями. Они вступают в химические реакции за счет полуацетального, т. е. гликозидного гидроксила, и за счет спиртовых групп. Кроме того, в некоторых реакциях моносахариды ведут себя как альдегиды или кетоны, т. е. реагируют в оксикарбонильной форме. Как спирты, они могут быть превращены в простые эфиры, реагируют с кислотами и их производными с образо-

ванием сложных эфиров. Как соединения, содержащие карбонильную группу, моносахариды могут легко окисляться и восстанавливаться, вступать в реакции нуклеофильного присоединения. В одних реакциях принимают участие исключительно цепные формы, а в других – циклические. В ряде случаев в реакции одновременно участвуют различные формы моносахаридов.

Восстановление. Все моносахариды при восстановлении образуют многоатомные спирты. В растениях наиболее часто встречаются сорбит, который образуется при восстановлении глюкозы или фруктозы, маннит – при восстановлении маннозы и рибит – продукт восстановления рибозы. Сорбит содержится в ягодах рябины, в соке вишен, слив, яблок и груш.

Окисление. В зависимости от характера окислителя могут образоваться одноосновные (альдоновые) или двухосновные (сахарные) гидроксикислоты. При слабом окислении в кислой среде окисляется альдегидная группа, т. е. гликозидный гидроксил, в результате чего образуются альдоновые кислоты. Из глюкозы в результате реакции образуется глюконовая кислота. При наиболее энергичном окислении альдоз окисляется не только гликозидный гидроксил, но и первичная спиртовая группа с образованием двухосновных кислот. Из глюкозы при этом образуется сахарная кислота, из галактозы – слизевая. Если у моносахаридов окисляется только первичная спиртовая группа, то образуются уроновые кислоты. Кислоты – продукты окисления моносахаридов, часто присутствующие в растениях, являющиеся промежуточными метаболитами при синтезе различных органических соединений. Например, из глюкоуроновой кислоты образуются пентозы, последняя же является соединением, необходимым для образования в растениях аскорбиновой кислоты; галактуроновая кислота и ее метоксилированные производные являются мономерами пектиновых веществ.

Образование озонов. При действии на сахар избытка фенилгидразина образуются фенилозоны – нерастворимые в воде, хорошо кристаллизующиеся вещества желтовато-оранжевого цвета. При образовании озонов вначале получают гидрозаны. Затем соседняя спиртовая группа под влиянием второй молекулы фенилгидразина превращается в кетогруппу. Эта группа, взаимодействуя с третьей молекулой фенилгидразина, образует озон.

Реакция алкилирования. Действие алкилирующих агентов на моносахариды приводит к образованию неполных и полных простых эфиров. При этом наиболее активно взаимодействует с эфиром полуацетальный гидроксил. В результате образуется простой эфир – гликозид. Связь алкина с углеродом, возникающая через кислородный мостик, называется гликозидной. Гликозиды широко распространены в растительном мире.

Реакция ацилирования. Моносахариды ацилируются ангидридами и галогеноангидридами кислот. При этом наряду со спиртовыми гидроксилами образуется полуацетальный гидроксил. В результате реакции ацилирования получают полные сложные эфиры моносахаридов. Из сложных эфиров наибольшее значение для жизнедеятельности растений и животных имеют фосфорные эфиры. Процессы метаболизма углеводов в клетках протекают преимущественно через фосфорнокислые эфиры.

Пиролиз моносахаридов. Нагревание моносахаридов до температуры выше 100°C приводит к их пиролизу с образованием множества ароматообразующих темноокрашенных продуктов, обладающих определенным запахом и вкусом.

Брожение сахаров. Под брожением понимают расщепление углеводов под влиянием микроорганизмов или выделенных ими ферментов. Брожению подвергаются сахара, у которых число атомов углерода кратно трем. Этот процесс осуществляется в организмах животных, растений и в микроорганизмах как с участием кислорода (аэробное брожение), так и без его участия (анаэробное брожение). При брожении в результате окислительно-восстановительных реакций освобождается энергия в виде АТФ и образуются клеточные метаболиты. Различают следующие виды брожения: 1) спиртовое; 2) молочнокислое; 3) маслянокислое; 4) метановое.

Процесс **спиртового брожения** характерен для дрожжевых грибов, особенно штаммов *Saccharomyces cerevisiae*. В ходе спиртового брожения они расщепляются с высоким выходом этилового спирта и диоксида углерода.

Молочнокислое брожение осуществляют бактерии из семейства *Lactobacteriaceae*. Конечным продуктом брожения глюкозы в данном случае является молочная кислота. Этот вид брожения происходит при получении молочнокислых продуктов, квашения овощей, силосовании кормов. Образующаяся молочная кислота подавляет распространение гнилостных бактерий, плесневелых грибов, т. е. служит консервантом.

Маслянокислое брожение осуществляется аэробными бактериями, относящимися к роду *Clostridium*. Этот вид брожения используется для получения масляной кислоты из крахмала.

Метановое брожение осуществляется метанообразующими бактериями, которые превращают спирты и органические кислоты, образованные при расщеплении углеводов, в метан. Метанообразующие бактерии обитают в болотах, где образуют "болотный газ" т. е. метан, а также являются составной частью флоры рубца жвачных животных.

В восстанавливающих олигосахаридах, в частности в дисахаридах, гликозидная связь образована за счет гликозидного гидроксила одного моносахаридного остатка и спиртового гидроксила другого, причем, у второго остатка остается свободной полуацетальная гидроксильная группа, и поэтому сохраняется способность к раскрытию цикла (кольчато-цепная таутомерия). Эта особенность определяет восстанавливающие свойства дисахарида, а также другие свойства, характерные для соединений, содержащих карбонильную группу.

Как и многоатомные спирты, олигосахариды вступают в реакции алкилирования и ацилирования. Характерной реакцией, свойственной для всех олигосахаридов, является кислотный гидролиз, в результате которого расщепляются гликозидные связи и образуются моносахариды.

Из химических реакций, характерных для полисахаридов, следует отметить реакцию алкилирования и ацилирования гидроксильных групп, а также гидролиз гликозидных связей.

Алкилирование. Наиболее распространенный способ метилирования – метод Хеуорса. Реакция происходит в водном растворе щелочи, в качестве алкилирующего реактива выступает диметилсульфат. Реакция алкилирования используется для установления структуры полисахарида.

Ацилирование. Осуществляют воздействием на полисахариды ангидридами карбоновых кислот в присутствии катализаторов.

Гидролиз гликозидных связей. При гидролизе гликозидных связей полисахарид распадается на ряд олигосахаридных фрагментов, которые при дальнейшем гидролизе образуют моносахариды. Реакцию проводят в присутствии разбавленных минеральных кислот. Скорость гидролиза полисахарида зависит не только от природы моносахаридов, но и от пространственной структуры макромолекулы. Необходимо отметить, что гликозидные связи в середине цепи более устойчивы к гидролизу, чем концевые.

3.4.4. Распространение углеводов в растениях

Углеводы составляют 3/4 сухой массы растений и являются главным продуктом фотосинтеза и основным дыхательным материалом. Углеводы накапливаются в корнях, клубнях, семенах и используются растениями затем в качестве запасных веществ. Стенки клеток и растительные волокна состоят главным образом из углеводов. В плодах и ягодах также преобладают углеводы. К углеводам относятся крахмал, целлюлоза, сахара, пектиновые вещества, инулин, лихенин, галактаны, маннаны, ксиланы, гемицеллюлозы, камеди, слизи и другие широко распространенные соединения растительного происхождения.

3.4.4.1. Моносахариды

Сахара представляют собой весьма существенный источник энергии, которую человек получает из пищевых продуктов. Тростниковый, свекловичный сахар, или сахароза, играет громадную роль в жизни человека в качестве пищевого и вкусового вещества. По сладости сахара неравноценны, располагаясь по убыванию сладости в следующем порядке: фруктоза, сахароза, глюкоза. Если принять сладость глюкозы за 100, то соответственно для сахарозы она выражается 200 и для фруктозы 220 (Арасимович В.В., 1948). К моносахаридам относятся сахара, дезоксисахара, аminosахара, сахаро-спирты и кислоты, являющиеся производными соответствующих сахаров. В растениях найдено лишь ограниченное число моносахаридов.

Глюкоза (виноградный сахар) – кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. В зависимости от условия кристаллизации глюкоза в кристаллическом состоянии может существовать в α - или β -форме. В природе глюкоза образуется в процессе фото- и хемосинтеза, а также из неуглеводных предшественников под действием ферментов. Содержится в свободном виде во всех зеленых частях растений, в семенах, различных фруктах и ягодах (табл. 15; Кобелева И.Б., Траубенберг С.Е., 2003). В больших количествах глюкоза содержится в винограде, отсюда происходит ее название – виноградный сахар.

Глюкоза входит в состав многих ди- и трисахаридов, крахмала, целлюлозы, гликогена, камедей, гликозидов и других соединений. Она вырабатывает-

ся в больших количествах путем кислотного гидролиза картофельного или кукурузного крахмала и составляет главную массу патоки, широко применяемой в кондитерском производстве. В медицине глюкоза используется как легкоусвояемое питательное вещество.

Таблица 15 – Содержание глюкозы в семенах и плодах

Культура	Содержание глюкозы, %	Культура	Содержание глюкозы, %
Пшеница	0,01–0,09	Виноград	8–10
Рожь	0,05	Лимон	0,6
Яблоко	3,8	Земляника	2,8
Персик	5,1	Черешня	5–6

Фруктоза (плодовый сахар) – водорастворимое кристаллическое вещество. Вследствие левого вращения ее долгое время называли левулезой. В водном растворе фруктоза существует в виде таутомерных форм, причем на долю фуранозных форм приходится 15 %, значительно также количество цепной формы. В виде β-D-фруктофуранозы она входит в состав олигосахаридов – сахарозы, рафинозы, стахиозы и полисахаридов, получивших название полифруктозидов. Последние в значительных количествах содержатся во многих растениях, особенно из семейства сложноцветных, (цикорий, земляная груша, кок-сагыз). Наиболее известен инулин, накапливающийся в качестве запасного углевода в клубнях земляной груши (топинамбура). В свободном виде фруктоза встречается в зеленых частях растений и нектаре цветков. Особенно ее много в плодах, поэтому второе название фруктозы – плодовый сахар. В небольшом количестве этот моносахарид содержится и в семенах зерновых культур (табл. 16; Кобелева И.Б., Траубенберг С.Е., 2003).

Таблица 16 – Содержание фруктозы в семенах и плодах

Культура	Содержание фруктозы, %	Культура	Содержание фруктозы, %
Пшеница	0,02–0,09	Виноград	7–10
Рожь	0,06	Лимон	0,6
Яблоко	8,1	Земляника	3,3
Персик	4,4		

Фруктоза – ценный питательный продукт, хорошо усваивается организмом и в процессе обмена веществ может превращаться в глюкозу. Смесь почти равных количеств фруктозы и глюкозы составляет основную массу меда. Как было уже отмечено, фруктоза слаще других сахаров. Наличием именно фруктозы вызвана сильная сладость меда. Как и глюкоза, фруктоза легко сбраживается дрожжами.

Галактоза – составная часть молочного сахара (лактозы), которая содержится в молоке млекопитающих. В составе трисахарида рафинозы она присутствует в растительных тканях и семенах. Галактоза входит в состав многих высокомолекулярных полисахаридов: употребляемого в кондитерской промышленности агар-агара, различных гумми и слизей, а также гемицеллюлоз. В свободном кристаллическом виде этот моносахарид выделяется из плодов плюща. Удельное вращение водных растворов галактозы после окончания мутаротации и установления равновесия между α- и β-формами +80,2°. Галактоза сбраживается лишь специфическими расами дрожжей, называемыми лактозными.

Манноза – хорошо растворимое в воде, сладкое на вкус кристаллическое вещество. В растениях встречается главным образом в виде высокомолекулярных полисахаридов, так называемых

маннанов, а также в составе гликозидов. В свободном состоянии в растениях она встречается довольно редко, чаще в них содержится ее производное – спирт маннит. Манноза легко сбраживается дрожжами. Ее обычно получают путем кислотного гидролиза гемицеллюлоз, образующих скорлупу каменного ореха. Удельное вращение водных растворов этого моносахарида после установления равновесия между α - и β -формами равно $+14,2^\circ$.

Сорбоза – сахар, содержащийся в сброженном бактериями соке рябины. Образуется при окислении шестиатомного спирта D-сорбита некоторыми бактериями. Этот моносахарид имеет большое значение в витаминной промышленности как важный промежуточный продукт синтеза аскорбиновой кислоты, т. е. антицинготного витамина С. Удельное вращение водных растворов сорбозы после окончания мутаротации и установления равновесия между α - и β -формами равно $-43,4^\circ$.

Арабиноза – моносахарид, широко распространенный в растениях в качестве составной части слизей, гумми, пектиновых веществ и гемицеллюлоз. В отличие от других моносахаридов, арабиноза в растениях обычно встречается в L-форме. Ее получают путем кислотного гидролиза вишневого клея или свекловичного жома. Удельное вращение водных растворов после окончания мутаротации $+104,5^\circ$. Животные плохо усваивают арабинозу; дрожжи ее не сбраживают.

Ксилоза – составная часть многих растительных слизей, гумми и гемицеллюлоз. Ее иногда называют древесным сахаром. Объясняется это тем, что она входит в состав пентозанов-ксиланов, которых много в древесине, соломе, отрубях, хлопковой шелухе и лузге подсолнечника. При кислотном гидролизе этих продуктов может быть получена чистая ксилоза. Для кондитерской промышленности ее получают путем кислотного гидролиза кукурузных кочерыжек. Обычными дрожжами этот моносахарид не сбраживается. Удельное вращение водных растворов после окончания мутаротации равно $+18,8^\circ$. Ксилоза обладает очень сладким вкусом, поэтому ее используют в кондитерской промышленности. При окислении ксилозы образуется ксилоновая кислота, а при восстановлении – спирт ксилит, который широко используется в промышленности при получении алкидных смол, детергентов, лаков и клеев. Ксилит обладает сладким вкусом, организмом человека не усваивается, поэтому применяется в производстве кондитерских изделий для больных сахарным диабетом и ожирением.

Рибоза входит в состав рибонуклеиновых кислот, ферментов и нуклеотидов, может существовать в цепной и циклической формах. При окислении этого моносахарида образуется рибоновая кислота, а при восстановлении – многоатомный спирт рибит. В растительной клетке рибоза в свободном состоянии встречается редко.

Апиоза – представитель группы моносахаридов с разветвленной углеродной цепью (альдопентоза). Этот моносахарид обнаружен в составе флавонового гликозида апиина, содержащегося в петрушке.

3.4.4.2. Олигосахариды

Олигосахариды иначе называют сахароподобными сложными углеводами, так как это – кристаллические вещества, легко растворимые в воде, часто обладающие сладким вкусом. Из группы олигосахаридов в растениях наиболее широко представлены сахароза, мелибиоза, лактоза, мальтоза, трегалоза, гентиобиоза, целлобиоза и рафиназа.

Сахароза – хорошо растворимый в воде, широко распространенный в растительном мире олигосахарид. Образуется в процессе фотосинтеза большинством растений и запасается в листьях, стеблях, корнях, плодах и цветках. Животные не способны синтезировать сахарозу. Богаты этим олигосахаридом сахарная свекла и плодовые культуры (табл. 17; Кобелева И.Б., Траубенберг С.Е., 2003).

Сахарозу получают из сахарной свеклы или сахарного тростника. Синтетический способ ее получения не разработан. Сахароза построена из α -D-глюкозы и β -D-фруктозы, которые соединены между собой $\alpha 1 \rightarrow \beta 2$ -связью, т. е. связью между первым углеродным атомом глюкозы и вторым углеродным атомом фруктозы за счет гликозидных гидроксиллов. Этот олигосахарид не содержит свободного гликозидного гидроксила, является невосстанавливающим сахаром, поэтому сахароза химически относительно инертна, за исключением ее высокой чувствительности и кислотному гидролизу. В связи с этим она является транспортным сахаром, в виде которого углерод и энергия

транспортируются по растению. Именно в виде сахарозы углеводы перемещаются из мест синтеза, т. е. листьев, к месту, где они откладываются в запас – в плоды, корнеплоды, семена, стебли. Скорость движения сахарозы по проводящим пучкам растений составляет 20–30 см/ч. При гидролизе сахарозы под действием кислот или фермента β -фруктофуранозидазы образуется смесь равных количеств D-глюкозы и D-фруктозы, которую называют *инвертным сахаром*. По сравнению с другими олигосахаридами сахароза значительно легче гидролизуется. Она хорошо сбраживается дрожжами.

Таблица 17 – Содержание сахарозы в семенах и плодах

Культура	Содержание сахарозы, %	Культура	Содержание сахарозы, %
Пшеница	0,19–0,57	Земляника	0,4
Рожь	0,41	Сахарная свекла	16–23
Яблоко	3,0	Морковь	2–6
Персик	2,7–12,0	Томаты	0,5–0,8
Лимон	0,9	Арбуз	1,2–3,2
Дыня	1,3–11	Тыква	0,6–6,0
Груша	0,5–5,1	Слива	0,9–8,3
Абрикос	3,7–15,8	Апельсин	1,0–6,0

Мальтоза (солодовый сахар) состоит из двух остатков α -D-глюкопиранозы (α -D-глюкозы), которые соединены связью между первым и четвертым атомами углерода, т. е. гликозидной связью $\alpha(1\rightarrow4)$. Этот олигосахарид в свободном состоянии в растениях содержится в небольшом количестве. Образуется при расщеплении крахмала под действием ферментов амилаз, которых больше всего в солоде, т. е. проросших зернах ячменя. Так как в молекуле мальтозы имеется один свободный гликозидный гидроксил, она восстанавливает феллингову жидкость и обнаруживает в водных растворах мутаротацию. В молекуле мальтозы остаток глюкозы, отдавший свой гликозидный гидроксил, является α -глюкозой. Поэтому мальтоза представляет собой α -глюкозидоглюкозу. Удельное вращение мальтозы в водных растворах равно $+130,4^\circ$. Сбраживается дрожжами в присутствии глюкозы.

Лактоза, называется также молочным сахаром потому, что она в количестве 4–5% содержится в молоке. Этот олигосахарид найден в пыльцевых трубочках растений. Несмотря на значительное содержание лактозы, молоко не обладает сладким вкусом. Объясняется это тем, что лактоза в 4–5 раз менее сладкая, чем сахароза. Лактоза построена из β -D-галактозы и α -D-глюкозы, соединенных между собой $\beta(1\rightarrow4)$ гликозидной связью. В молекуле лактозы присутствует полуацетальный гидроксил (в остатке глюкозы), поэтому лактоза существует в двух таутомерных формах, одна из которых альдегидная. Следовательно, этот олигосахарид представляет собой восстанавливающий сахар. Лактоза восстанавливает феллингову жидкость и в водных растворах обнаруживает мутаротацию. Вращает плоскость поляризованного света вправо.

Целлобиоза – повторяющаяся структурная единица, из которой построены молекулы целлюлозы. В свободном состоянии она в небольших количествах встречается лишь в пасоке некоторых деревьев. Однако фермент целлюлаза, который катализирует ее расщепление, распространен очень широко и обнаружен в солоде, в прорастающих семенах овса, ячменя, шпината и других растений. Целлобиоза образуется при ферментативном гидролизе целлюлозы под воздействием β -гликозидазы. Она состоит из двух остатков D-глюкозы, соединенных $\beta(1\rightarrow4)$ гликозидной связью. Целлобиоза в водных растворах обнаруживает мутаротацию. Удельное вращение этого олигосахарида в водных растворах равно $+34,6^\circ$. Целлобиоза хорошо кристаллизуется и растворяется в воде.

Рафиноза (мелитриоза) в незначительных количествах содержится в корнях сахарной свеклы, семенах хлопчатника и засохших выделениях (манне) эвкалипта. При выработке сахара рафиноза переходит в мелассу. В корнеплодах сахарной свеклы, содержащих до 20 % сахарозы, рафиноза составляет от 0,2 до 1 % при расчете на сахарозу. При хранении свеклы содержание рафинозы в корнеплодах возрастает. Молекулы рафинозы состоят из остатков α -D-глюкозы и β -D-фруктозы. Галактоза и глюкоза соединены между собой 1,6-связью, а глюкоза и фруктоза – 1,2-связью. Рафиноза кристаллизуется в виде длинных игл с пятью молекулами воды; удельное вращение рафинозы водных растворов равно $+105,2^\circ$. Она не восстанавливает феллингову жидкость, не имеет сладкого вкуса. При нагревании с кислотами рафиноза гидролизуется, образуя одну молекулу глюкозы, одну молекулу фруктозы и одну молекулу галактозы.

Мелибиоза – компонент трисахарида рафинозы. В свободном виде содержится в соке некоторых растений. В молекуле этого олигосахарида соединены пиранозные формы глюкозы и галактозы за счет первичной спиртовой группы глюкозы и гликозидного гидроксила галактозы. Мелибиоза–6-гликозо- α -галактозид содержит свободный гликозидный гидроксил. В водных растворах мелибиоза обнаруживает мутаротацию. Удельное вращение мелибиозы в водных растворах равно $+129,5^\circ$. Она восстанавливает феллингову жидкость; сбраживается дрожжами низового брожения.

Трегалоза (грибной сахар) содержится в грибах, в рожках спорыньи, водорослях и некоторых высших растениях из рода *Selaginella*. В пекарских дрожжах содержание трегалозы достигает 18 % сухой массы. При гидролизе этот олигосахарид распадается на две молекулы глюкозы. Сбраживается большинством дрожжей. Трегалоза не содержит свободного гликозидного гидроксила и поэтому не восстанавливает феллингову жидкость. Удельное вращение трегалозы в водных растворах равно $+178,3^\circ$.

Гентиобиоза – дисахарид, входящий в состав амигдалина, кроцина и многих других гликозидов. В связанном виде этот олигосахарид содержится в корнях различных видов горечавки (*Gentiana*), от которой и получила свое название. При гидролизе гентиобиоза образует две молекулы D-глюкозы. В молекуле олигосахарида остатки глюкозы связаны за счет гликозидного гидроксила одной молекулы глюкозы и гидроксила, находящегося у шестого углеродного атома другой молекулы глюкозы. Гентиобиоза представляет собой 6-глюкозо- β -D-глюкопирозид. Поскольку этот олигосахарид содержит свободный гликозидный гидроксил, он восстанавливает феллингову жидкость и в водных растворах обнаруживает мутаротацию.

3.4.4.3. Полисахариды

Основными представителями несахароподобных полисахаридов являются крахмал, гликоген, целлюлоза, инулин, лихенин, гемицеллюлоза, пектиновые вещества, хитин, камиди и слизи.

Крахмал является одним из самых распространенных резервных полисахаридов растений. Он образуется в процессе фотосинтеза в листьях растений и по мере накопления расщепляется и преобразуется до растворимых соединений, а затем повторно откладывается как запасное вещество в корнях, семенах и плодах. В дальнейшем крахмал используется растительной клеткой как энергетический и строительный материал. В больших количествах он содержится в эндосперме злаков – 65-85% его массы, в картофеле – до 20 % (табл. 18; Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Корсунова М.И. и др., 2004).

Крахмал не является химически индивидуальным веществом. В его состав кроме полисахаридов входят минеральные вещества, в основном представленные фосфорной кислотой, липиды и высокомолекулярные жирные кисло-

ты – пальмитиновая, стеариновая и некоторые другие соединения, адсорбированные углеводной полисахаридной структурой крахмала. В клетках эндосперма крахмал находится в виде зерен (гранул). Крахмальные зерна имеют овальную, сферическую или неправильную форму. Диаметр крахмальных зерен колеблется в пределах 0,002–0,15 мкм. Наиболее крупные крахмальные зерна у картофеля, а самые мелкие – у риса и гречихи. Крахмальные зерна разделяются на простые и сложные: простые зерна представляют собой однородные образования; сложные зерна – сочетание более мелких частиц. Простые крахмальные зерна характерны для картофеля, пшеницы, ржи, сложные – для риса, овса. Характерным свойством крахмала является его способность окрашиваться в синий цвет при добавлении водного раствора иодида калия. Появление синего цвета объясняется образованием комплексных и адсорбционных соединений между крахмалом и иодом. В холодной воде крахмальные зерна набухают вследствие присоединения воды, но не растворяются. Однако при постепенном нагревании крахмал образует вязкий коллоидный раствор – крахмальный клейстер. Температура, при которой происходит это изменение крахмала, называется *температурой клейстеризации*. Крахмал картофеля клейстеризуется при температуре 55–65°C, кукурузы – 64–71, пшеницы – 60–80, риса – 70–80°C.

Таблица 18 – Содержание крахмала в плодах и семенах

Культура	Содержание крахмала, %	Культура	Содержание крахмала, %
Пшеница	60	Ячмень	55
Рожь	65	Кукуруза	70
Овес	45	Рис	69
Просо	58	Горох	43
Бобы	42	Соя	3
Вика	43	Фасоль	55
Чечевица	47	Люпин	3
Гречиха	63	Картофель	20

Углеводная часть крахмала состоит из двух полисахаридов: амилозы и амилопектина, которые различаются по физическим и химическим свойствам.

По химическому строению амилоза представляет собой длинную неразветвленную цепь глюкозных остатков, соединенных $\alpha(1\rightarrow4)$ гликозидными связями (рис. 23; Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Прудникова Т.Н. и др., 2003).

Каждая молекула амилозы содержит от сотен до нескольких тысяч глюкозных остатков, соединенных, главным образом, $\alpha 1\rightarrow 4$ гликозидными связями. Ее молекулярная масса составляет $3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$. У амилозы различают восстанавливающий конец (А) и невосстанавливающий (В). Цепная молекула амилозы имеет спиральную форму и диаметр 1 нм, причем каждый виток спирали состоит из шести глюкозных остатков. Во внутренний канал спирали могут проникать молекулы диаметром менее 1 нм, образуя комплексы, которые называются соединениями включения, или клатратами. Молекулярный комплекс амилозы с иодом имеет синюю окраску ($\lambda_{\text{max}}=620-680$ нм). Это используется в аналитических целях для определения крахмала и иода.

Амилопектин представляет собой разветвленный компонент крахмала. В его молекуле глюкозные остатки соединены гликозидными связями не толь-

ко между 1-м и 4-м углеродными атомами, но также между 1-м и 6-м. Амилопектин окрашивается раствором иода в сине-фиолетовый цвет. Каждая молекула амилопектина имеет один восстанавливающий (А) и большое число невосстанавливающих концов (В). Структура амилопектина трехмерна, его ветви расположены по всем направлениям и придают молекуле сферическую форму. Молекулярная масса амилопектина колеблется от 106 до 109.

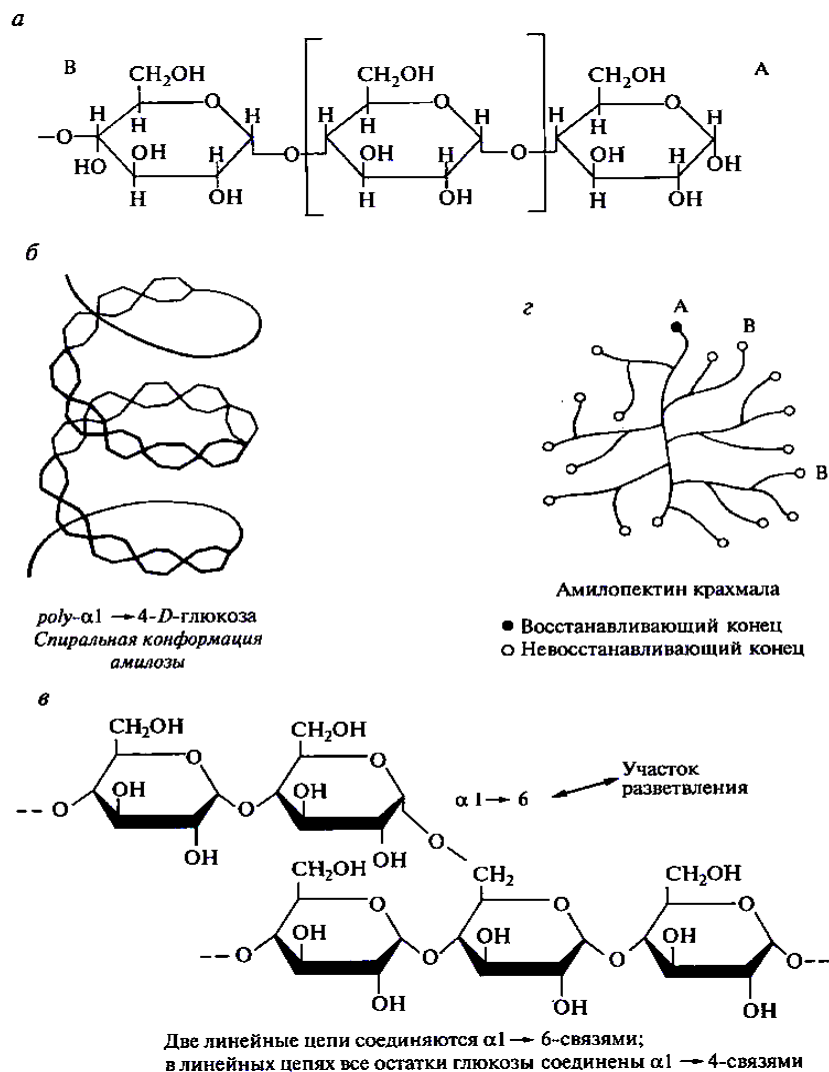


Рис. 23. Крахмал, его строение. Амилоза и амилопектин.

- а – схема соединения молекул глюкозы в амилозе;
- б – пространственная структура амилозы;
- в – схема соединения глюкозы в амилопектине;
- г – пространственная молекула амилопектина

Крахмал, как типичный представитель полисахаридов, образует по гидроксильным группам простые и сложные эфиры. При кислотном и ферментативном гидролизе, γ -облучении и термической обработке сухого крахмала получают продукты его частичного расщепления – декстрины. При гидролизе крахмала под действием кислот сначала имеет место ослабление и раз-

рыв ассоциативных связей между макромолекулами амилозы и амилопектина. Это сопровождается нарушением структуры крахмальных зерен и образованием гомогенной массы. Далее идет разрыв α -D-(1,4)- и α -D-(1,6)- связей с присоединением по месту разрыва молекулы воды. В процессе гидролиза нарастает число свободных альдегидных групп, уменьшается степень полимеризации. По мере гидролиза и нарастания восстанавливающих веществ содержание декстринов уменьшается, глюкозы – увеличивается, концентрация мальтозы, три- и тетрасахаридов сначала увеличивается, затем их количество снижается. Конечным продуктом гидролиза является глюкоза. На промежуточных стадиях образуются декстрины, три- и тетрасахара, мальтоза.

Биологическая роль крахмала заключается в том, что он представляет собой форму хранения питательных веществ в растениях. Если возникает потребность в энергии и источнике углерода, крахмал легко высвобождается из гранул и гидролизуется ферментами. Большинство растений содержат два различных типа гидролитических ферментов, традиционно называемых α -амилазой и β -амилазой. Оба этих фермента расщепляют и амилозную и амилопектиновую фракции крахмала по α (1 \rightarrow 4)-связи, но на различные фрагменты. α -Амилаза действует на целое крахмальное зерно, атакуя его, разрушая поверхность и образуя каналы и бороздки, т. е. как бы раскалывает зерно на части. Клейстеризованный крахмал гидролизуется ею с образованием низкомолекулярных декстринов. По мере накопления декстринов подключается β -амилаза, расщепляющая их до сахаров, являющихся непосредственным строительным материалом развивающегося проростка. В отличие от α -амилазы, β -амилаза практически не гидролизует нативный крахмал, клейстеризованный крахмал гидролизуется до мальтозы в β -конфигурации.

Целлюлоза (клетчатка) – это наиболее распространенное органическое соединение. Она встречается повсюду в растительном мире в качестве структурного компонента клеточной стенки. В некоторых частях определенных растений она присутствует почти в чистом виде. Например, особенно богаты целлюлозой волокна хлопчатника, где ее содержание составляет 98–99%.

Целлюлоза состоит из полимерных цепочек молекул D-глюкозы (до 1000 звеньев), соединенных между собой β (1 \rightarrow 4)-гликозидными связями. Эти цепочки объединяются, образуя волокна. Когда молекулы глюкозы, находящиеся в C1-конфигурации, образуют β (1 \rightarrow 4)-цепочки, формируется β -структура. Связано это с тем, что сахарные остатки, соединенные гликозидными связями, теряют полную свободу вращения вокруг C–O– и O–C– связей из-за наличия массивных $\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ -групп, и полимер приобретает конфигурацию, благоприятную для образования межцепочных водородных связей, в случае, когда цепочки располагаются антипараллельно. Структура целлюлозы хорошо приспособлена для ее биологической роли. Способность образовывать водородные связи между отдельными цепями целлюлозы очень высока, так как каждый остаток способен участвовать тремя своими OH-группами в их образовании. Это сообщает intactным волокнам высокую прочность и является причиной нерастворимости целлюлозы в воде. В клеточных стенках растений эти волокна целлюлозы плотно упакованы в слои, которые дополнительно стабилизированы вследствие присутствия в них других соединений полисахаридной природы, например гемицеллюлозы, пектина и лигнина, которые играют роль связующего материала. Целлюлоза очень стойкое химическое соединение, не растворяется в большинстве обычных растворителей, но может растворяться под

действием реактива Швейцера – водного раствора медноаммиачного комплекса $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$. При кипячении с концентрированной соляной или серной кислотой происходит гидролиз целлюлозы. При ее полном гидролизе образуется β -D-глюкоза. Гидролиз целлюлозы с образованием молекул целлобиозы идет под действием фермента целлюлозы.

Гликоген – полисахарид, содержащийся в тканях тела человека и животных, в грибах и дрожжах, в зерне сахарной кукурузы. Растительный гликоген, содержащийся в зерне кукурузы, иногда называют фитогликогеном. В структурном отношении гликоген представляет собой разветвленную молекулу полиглюкозы, аналогичную амилопектиновой фракции крахмала, однако гликоген сильнее разветвлен. В гликогене точки ветвления встречаются примерно через каждые 8–10 остатков вдоль $\alpha(1\rightarrow4)$ -цепи. В амилопектине крахмала точки ветвления встречаются через каждые 25–30 остатков. Внутри клеток молекулы гликогена гидролизуются гликоген-фосфорилазой – ферментом, последовательно отщепляющим по одному остатку глюкозы от любого из невосстанавливающих концов, приводя к образованию глюкозо-1-фосфата. Для расщепления полимера в точках ветвления по $\alpha(1\rightarrow6)$ -связям опять-таки используется специальный фермент.

Инулин – высокомолекулярный углевод (5000–6000), растворимый в воде, осаждающийся из водных растворов при добавлении спирта. Молекулы фруктозы в инулине соединены 1,2-связями. Обычно в молекуле инулина содержится 35–42 остатков фруктозы. При гидролизе инулина с помощью кислот образуется фруктофураноза и небольшое количество глюкопиранозы. Этот полисахарид в большом количестве содержится в клубнях земляной груши и георгина, в корнях одуванчика, кок-сагыза и цикория, в артишоках, в корнях, листьях и стеблях каучукового растения гваюлы. В этих растениях инулин заменяет крахмал.

Хитин – это линейный полисахарид, построенный из остатков N-ацетил- β -D-глюкозамина, соединенных между собой $\beta(1\rightarrow4)$ -гликозидными связями. Хитин – основная составная часть покровных тканей ракообразных, насекомых, паукообразных, червей, клеточных стенок большинства грибов и некоторых водорослей. По структуре и физико-химическим свойствам этот полисахарид близок к целлюлозе, что позволяет ему выполнять в живых организмах сходные (структурные) с целлюлозой функции. Для хитина, как и для целлюлозы, характерны жесткость молекулы, большая химическая устойчивость, склонность к образованию водородных связей, что приводит к формированию высокоупорядоченных надмолекулярных структур. При деацетилировании хитина щелочами происходит образование хитозана, который растворяется в кислотах с образованием солей. Препараты хитина и хитозанов стимулируют клетки, которые участвуют в иммунной реакции организма, ускоряют заживление ран. Хитин, как и многие растительные полисахариды, стимулирует образование антител и усиливает активность макрофагов.

Лихенин – полисахарид, содержащийся в лишайниках. Как и целлюлоза, лихенин при полном гидролизе дает глюкозу, а при частичном – целлобиозу, от целлюлозы этот полисахарид отличается более низкой молекулярной массой, а также тем, что глюкозидные остатки в ней соединены не только 1,4-, но и 1,3-связями. Лихенин растворяется в горячей воде и разбавленных водных растворах щелочей, при гидролизе кислотами образуется 98–99 % D-глюкозы. Организм человека лишайники не усваивает. Однако желудочно-кишечный тракт северных оленей, для которых лишайники являются основным кормом, переваривает этот полисахарид на 78 %. Правда, сами по себе желудочные соки оленя не переваривают лихенин; его переваривание осуществляют бактерии пищеварительного тракта оленей.

Каллоза – представляет собой глюкан, молекула которого состоит приблизительно из 100 остатков глюкозы, соединенных между собой β -1,3-связями. Каллоза выстилает соединительные каналцы ситовидных элементов, образует тонкий слой на поверхности ситовидной пластинки или ситовидного поля при нормальной деятельности флоэмных элементов. При ранениях или патологических процессах каллоза в виде аморфной массы закупоривает поры и перфорации* флоэмы, что прекращает деятельность такого ситовидного элемента.

Гемицеллюлозы – полисахариды, образующие в комплексе с пектиновыми веществами и лигнином матрикс клеточных стенок растений, заполняющий пространство между каркасом стенок, сложенных из целлюлозных микрофибрилл. Гемицеллюлозы подразделяются на 1) галактаны, 2) маннаны и 3) ксиланы или арабаны.

* Перфорации – сквозные отверстия в оболочках, соединяющие полости соседних (смежных) клеток.

Галактаны – полисахариды, построенные из остатков галактозы соединенных $\beta(1\rightarrow4)$ -связями в основную цепь. С ним по С6 соединены дисахариды, состоящие из D-галактопиранозы и L-арабофуранозы. Они входят в состав клеточных стенок и могут играть роль запасного вещества растения.

Маннаны – полисахариды, основная цепь которых образована из α -D-маннопиранозных и β -D-аминопиранозных остатков, связанных гликозидными $\beta(1\rightarrow4)$ связями. К некоторым остаткам маннозы основной цепи $\beta(1\rightarrow6)$ связями присоединены единичные остатки β -D-галактопиранозы. Гидроксильные группы при С2 и С3 некоторых остатков маннозы ацетилированы. Эти полисахариды, как и галактаны, являются компонентами клеточных стенок и могут служить резервным питательным материалом растения.

Ксиланы – полисахариды, образованные остатками D-ксилопиранозы (β -D-ксилозы), соединенными связями $\beta(1\rightarrow4)$ в линейную цепь. Семь из каждого десяти ксилозных остатков ацетилированы по С3 и реже по С2. К некоторым ксилозным остаткам присоединена 4-О-метил - α -D-глюкуроновая кислота через гликозидную $\alpha(1\rightarrow2)$ связь. Ксиланы в большом количестве содержатся в древесине и других вегетативных частях растения. Они входят в основном в состав клеточных стенок. В древесине лиственных пород количество ксиланов достигает 25%, в древесине хвойных – 12%. Под действием кислот ксиланы гидролизуются с образованием ксилозы.

Арабаны – растворимые в воде полисахариды, построенные из остатков арабинозы. В состав арабанов, как правило, входит L-арабиноза в фуранозной форме. Молекулярная масса этих полисахаридов достигает 6000. Остатки арабинозы в арабанах образуют цепи, соединенные 1,5-связями; к каждому второму остатку арабинозы в цепи присоединены еще по одной молекуле арабинозы с помощью 1,3-связи.

Пектиновые вещества – высокомолекулярные соединения углеводной природы, содержащиеся в плодах, корнеплодах, клубнях и стеблях растений. Эти полисахариды присутствуют в растениях в виде нерастворенного протопектина, представляющего собой соединение метоксилированной полигалактуроновой кислоты с галактаном и арабаном клеточной стенки. В основе строения пектиновых веществ лежит цепь из остатков α -D-галактуроновой кислоты, соединенных 1,4-связями.

Пектиновые вещества играют важную физиолого-биохимическую роль при созревании, хранении и переработке плодов и овощей. Во время развития плодов протопектин отлагается в клеточных стенках и может накапливаться в плодах в значительных количествах. Созревание плодов характеризуется превращением протопектина в растворимый пектин – вещество, свободное от целлюлозы и состоящее из частично или полностью метоксилированных остатков полигалактуроновой кислоты. При созревании и хранении плодов происходит переход нерастворимых форм пектина в растворимые. С этим явлением связано размягчение плодов.

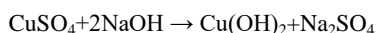
Камеди (гумми) и **слизи** – группа коллоидных полисахаридов, к которым принадлежат растворимые в воде углеводы, образующие чрезвычайно вязкие и клейкие растворы. Типичными представителями этой группы являются камеди, выделяемые в виде наплывов вишневыми, сливовыми или миндальными деревьями в местах повреждения ветвей и стволов. Камеди являются продуктами ферментативного или патологического растворения клеточных оболочек. Слизи содержатся в значительном количестве в льняных семенах и зерне риса. Камеди состоят из остатков галактозы, маннозы, арабинозы, п-глюкуроновой кислоты и незначительного количества ксилозы. Слизи, как правило, представлены пентозанами: ксилозой, арабинозой, галактозой. Характерной особенностью является их способность сильно набухать в воде и затем растворяться с образованием очень вязких растворов

Агар-агар – высокомолекулярный полисахарид, содержащийся в некоторых морских водорослях, принадлежащих к родам *Gelidium*, *Cracilaria*, *Pterocladia*, *Ahufeltia*. В холодной воде агар-агар нерастворим, но растворяется в ней при нагревании. Водные растворы его при охлаждении застывают в виде студня. Агар-агар состоит из двух полисахаридов – агарозы и агаропектина. Агароза состоит из остатков D-галактозы и 3,6-ангидридо-L-галактозы, соединенных между собой α -1,3- и β -1,4-гликозидными связями. Агаропектин состоит из цепочек, образуемых остатками D-галактопиранозы, некоторые из которых связаны сложноэфирной связью с остатками серной кислоты. Агар-агар применяют в бактериологии для приготовления твердых питательных сред, в кондитерской промышленности для изготовления желе, пастилы, мармелада, джемов.

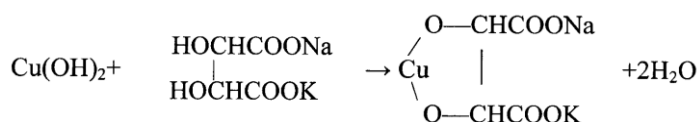
3.4.5. Методы определения содержания углеводов в растениях

Для определения содержания и состава углеводов в растениях разработаны достаточно точные методы.

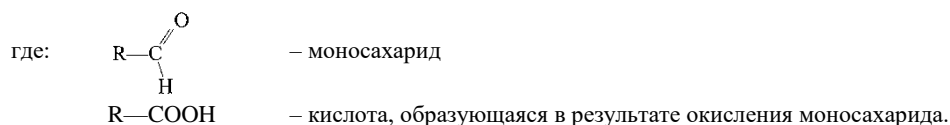
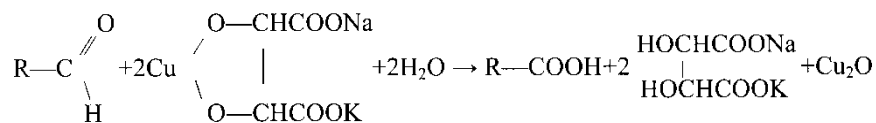
Моно- и олигосахариды. Большинство химических методов определения редуцирующих сахаров основано на легкой их окисляемости и способности восстанавливать различные соединения. Одним из наиболее распространенных методов определения содержания редуцирующих сахаров является метод Бертрана. Для анализа используют *феллингову* жидкость (смесь медного купороса с сегнетовой солью в щелочной среде). При смешивании сульфата меди с гидроксидом натрия идет реакция:



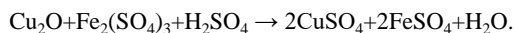
В присутствии сегнетовой соли в щелочной среде гидроксид меди в осадок не выпадает, так как образуется комплексное соединение.



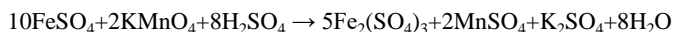
Феллингова жидкость окисляет альдегидные и кетонные группы. При взаимодействии раствора сахара с феллинговой жидкостью сахар окисляется и образуется закись меди:



По количеству образовавшейся закиси меди можно судить о содержании сахара в растворе. Количество закиси меди определяют объемным методом. Для этого на закись меди действуют сернокислым окисным железом или железоаммиачными квасцами в кислом растворе. В результате реакции закисная медь переходит в окисную, а железо восстанавливается:



Количество образовавшегося двухвалентного железа определяют окислением его перманганатом калия в кислой среде:



По количеству затраченного на титрование перманганата вычисляют количество закиси меди, и затем содержание сахаров в растворе. Для определения сахарозы (вместе с редуцирующими сахарами) ее необходимо предварительно гидролизовать.

Для определения суммарного количества всех растворимых сахаров удобно использовать полумикрометод, предложенный Дюбойсом. В данном случае растворимые сахара извлекают из растительного материала спиртом, спирт удаляют, а сахара растворяются в воде. К раствору сахаров добавляют фенол и серную кислоту, в результате чего раствор окрашивается в желто-

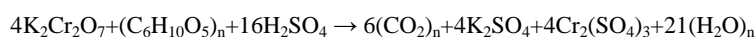
оранжевый цвет. При пропорциональном содержании сахаров в растворе интенсивность окраски определяют на фотоэлектроколориметре или спектрофотометре.

Количественный и качественный анализ отдельных сахаров производят методами газожидкостной, ионообменной или жидкостной хроматографии. Количественные определения сахаров проводят также методом ионометрии с использованием ферментных электродов, обладающих высокой селективностью к определенным сахарам.

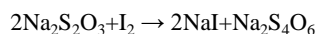
Пектин. Наибольшее применение для определения пектиновых веществ получил объемный метод, предложенный С. Я. Паик. Водорастворимые пектиновые вещества экстрагируют водой, а нерастворимые – соляной кислотой и лимонно-кислым аммонием. После омыления пектиновые вещества осаждают в виде медных комплексов. Содержание пектиновых веществ определяют по количеству меди, связанной в виде комплексов. Количество меди определяют объемным методом.

Крахмал. Методы определения крахмала основаны на изменении интенсивности его окраски при реакции с иодом, определяющем количество образовавшейся глюкозы после ферментативного расщепления крахмала. На практике наибольшее распространение получили метод кислотного гидролиза, разработанный Дж. Пьючером, колориметрический и объемный методы, предложенные Х. Н. Починоком.

По Дж. Пьючеру, крахмал экстрагируют из растительного материала хлорной кислотой и осаждают его в виде иодного комплекса. Последний разлагают и крахмал гидролизуют до глюкозы и определяют методом Бертрана. По количеству найденной глюкозы вычисляют содержание крахмала. Для определения крахмала объемным методом его переводят в раствор путем нагревания в 80%-ном растворе нитрата кальция и осаждают в виде комплексного соединения крахмала с иодом. Затем окисляют крахмал в кислой среде бихроматом калия до диоксида углерода и воды:



Избыток бихромата калия разрушают иодистым калием, в результате чего выделяется иод, который затем оттитровывают гипосульфитом:



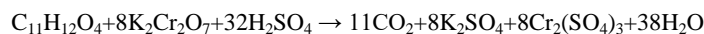
По количеству прореагировавшего гипосульфита вычисляют содержание крахмала.

Определение крахмала объемным методом можно проводить только тогда, когда в осадке крахмала нет фруктозанов, декстринов и примесей других органических веществ. Если анализируемое вещество содержит такие примеси, то используют колориметрический метод определения крахмала. Так же, как и при объемном методе, крахмал растворяют в 80%-ном растворе нитрата кальция и осаждают его из полученного раствора иодом. В присутствии иодистого калия и нитрата кальция иод осаждают крахмал в виде темно-синего соединения, содержащего 14–16 % иода. Затем полученный комплекс растворяют в едком натре, разбавляют водой до определенного объема и проводят реакцию с иодом в кислой среде. Оптическую кислотность полученного синего раствора определяют при длине волн 580–610 нм и концентрацию крахмала в растворе находят по калибровочному графику.

Гемицеллюлоза. Определение гемицеллюлозы основано на определении восстанавливающих сахаров, полученных при кислотном или щелочном гидролизе. Расчет производят с помощью соответствующих коэффициентов.

Целлюлоза. Метод определения целлюлозы основан на проведении гидролиза легкорастворимых углеводов и получении негидролизующего остатка, который определяют путем взвешивания.

Лигнин. Лигнин отделяется от других веществ, содержащихся в растительных тканях, путем обработки различными реактивами. Для удаления сахаров, органических кислот и других растворимых веществ материал обрабатывают 1 %-ой уксусной кислотой, затем ацетоном или смесью этилового спирта и эфира (1:1) для удаления хлорофилла, липидов, смол и других растворимых в органических растворителях веществ и, наконец, 72%-ой серной кислотой для удаления целлюлозы и гемицеллюлозы. После промывания остатка дистиллированной водой с целью удаления продуктов гидролиза полученный препарат лигнина окисляют бихроматом калия в присутствии серной кислоты:



Избыток бихромата калия определяют титрованием его солью Мора или иодометрическим методом.

3.4.6. Содержание углеводов в растениях в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания

Содержание углеводов в растениях в значительной степени зависит от их обеспеченности элементами питания, и прежде всего азотом, фосфором и калием. В почве, как правило, недостаточно питательных веществ в доступной форме, поэтому для получения высоких урожаев с заданным химическим составом необходимо вносить удобрения.

3.4.6.1. Зерновые культуры

Основной запасной углевод зерновки злаковых культур – крахмал, который представлен амилозой и амилопектином. Соотношение между ними в зерновках может изменяться в зависимости от условий выращивания. Количество амилозы, как правило, варьирует в пределах 15–25 %, а амилопектина – 75–85 % общего количества крахмала в зерне. Запасной крахмал откладывается в мучнистой части эндосперма в виде крахмальных зерен. Вначале крахмал накапливается в пластидах, т. е. амилопластах, затем их мембранная структура разрушается и они превращаются в крахмальные зерна. Содержание крахмала в зерновках большинства зерновых культур составляет 50–70 %, в рисе и кукурузе – 70–80 %. Помимо крахмала в зерновках злаков накапливаются сахара – 2–5 % массы зерна, клетчатка – 2–3 % у голозерных и до 10–15 % у пленчатых форм, а также гемицеллюлозы, слизи, пектиновые вещества, полифруктозиды. Сахара в зерне наполовину представлены сахарозой, а также моносахаридами, мальтозой и рафинозой. Они преимущественно локализованы в зародыше и периферийных частях мучнистого эндосперма. Целлюлоза, гемицеллюлоза, пектиновые вещества входят в состав клеточных стенок и их также много в пленках и семенных оболочках.

Существует взаимосвязь между содержанием углеводного комплекса в растениях и их обеспеченностью элементами минерального питания. Чрезмерное увеличение норм азотных удобрений, вносимых под зерновые культуры, может вызвать снижение урожая и содержания в нем крахмала. В то же время оптимизация азотного питания растений способствует большему накоплению в зерновках запасных углеводов. Аналогичное воздействие на углеводный комплекс зерновых культур оказывают фосфорные и калийные удобрения. Большое влияние на накопление запасных углеводов растениями зерновых культур оказывают микроэлементы. Они повышают активность различных ферментов растений, ускоряют биохимические процессы и тем самым способствуют синтезу углеводов.

3.4.6.2. Зернобобовые культуры

Основные углеводы, определяющие качество зерна зернобобовых культур – это крахмал, сахара, гемицеллюлоза, клетчатка. Главный запасной углевод – крахмал, содержание которого в семенах различных зернобобовых культур колеблется от 40 до 55 %. Состав крахмала у большинства бобовых культур примерно такой же, как у злаков – 20–30 % амилозы, 70–80 % амилопектина. Имеются исключения. Так, в крахмале гороха доля амилозы может достичь 50 %. В созревающих семенах запасной крахмал синтезируется из сахаров, образующихся в листьях, а также в створках бобов, в которых много моносахаридов и крахмала. В процессе налива зерна крахмал в створках бобовых распадается, и образующиеся продукты поступают в семена. В листьях в это время также усилива-

ется распад структурных полисахаридов, гемицеллюлоз, пектиновых веществ и ассимиляционного крахмала. В процессе распада этих углеводов наряду с моносахаридами и их фосфорными эфирами образуется много сахарозы.

Бобовые растения с помощью клубеньковых бактерий усваивают атмосферный азот. Следовательно, уровень накопления запасных углеводов в этих растениях в значительной степени зависит от интенсивности фиксации азота клубеньковыми бактериями и их обеспеченности зольными элементами минерального питания. Эти вопросы успешно решаются оптимизацией минерального питания растений путем внесения макро- и микроудобрений. На углеводный комплекс бобовых культур существенное влияние оказывают фосфорно-калийные удобрения. На почвах, бедных подвижными формами фосфора и калия, внесение фосфорно-калийных удобрений повышает содержание крахмала в семенах зернобобовых культур. Важным резервом повышения количества запасных углеводов в семенах бобовых растений является применение микроудобрений. Микроэлементы способствуют ускорению использования необходимых для жизнедеятельности растений макроэлементов, что и обуславливает более интенсивное течение фотосинтеза и накопление углеводов в урожае.

3.4.6.3. Кормовые травы

В вегетативных органах кормовых трав, как и любых других растений, основные продукты фотосинтеза – углеводы, которые накапливаются как запасные вещества у бобовых в виде ассимиляционного крахмала, а у мятликовых растений в виде фруктозидов, содержащих от 3 до 30 остатков фруктозы. Ассимиляционный крахмал откладывается в листьях и корнях растений, фруктозиды – в листьях и нижней утолщенной части соломины. Общее количество этих полисахаридов в кормовых травах может достигать 6–8 % сухой массы. В клеточных стенках травянистых растений откладывается до 10–15 % сухой массы гемицеллюлоз, которые играют роль как структурных, так и запасных веществ. Содержание целлюлозы в зависимости от возраста растений и условий выращивания колеблется в очень широких пределах – 20–35 % сухой массы. Если содержание целлюлозы превышает 30 %, переваримость органических веществ корма резко снижается. Кроме полисахаридов в кормовых травах содержится большое количество легкорастворимых углеводов – моносахаридов и сахарозы, в значительной степени определяющих их питательную ценность. Общее количество сахаров в вегетативных органах бобовых оставляет 6–10 % сухой массы, у злаковых трав – 4–7 %, кукурузы – 9–14 %, причем преобладающая часть сахаров представлена сахарозой.

Действие удобрений на синтез углеводов в листьях кормовых трав такое же, как и на другие растения. Обеспечение режима питания кормовых трав в значительной степени зависит от их видового состава. При выращивании бобовых трав первоочередное внимание уделяют созданию оптимальных условий для симбиотической фиксации азота. Под эти культуры, как правило, не вносят азотные удобрения, а нормы фосфорных и калийных удобрений рассчитывают по потребности растений с целью формирования возможно большего урожая зеленой массы. На хорошо окультуренной почве от внесения фосфорно-калийных удобрений возрастает интенсивность и продуктивность фотосинтеза, что способствует большему накоплению в растениях запасных углеводов. При выращивании злаковых трав и кукурузы на зеленый корм или силос вносят фосфорно-калийные, которые необходимо дополнять внесением азотных удобрений. Недостаток азота приводит к нежелательному возрастанию содержания в вегетативной массе клетчатки и снижению содержания сахаров.

3.4.6.4. Корнеплоды

Углеводный комплекс корнеплодов на 70–80% представлен легкорастворимыми формами – сахарозой и моносахаридами, которые обычно называют сахарами. Больше всего сахаров (16–20 %) содержится в корнеплодах сахарной свеклы, причем основную часть их (80–90 %) составляет сахароза. Общее количество моносахаридов – глюкозы и фруктозы не превышает 1 % сырой массы корнеплода. В корнеплодах сахарной свеклы содержатся также небольшие количества мальтозы и рафинозы. В корнеплодах кормовой и столовой свеклы, моркови, турнепса содержание сахаров достигает 7–12 %, а в репе и редисе – 6–8 %.

Азотные удобрения во всех почвенно-климатических регионах Российской Федерации увеличивают урожай сахарной свеклы, но, как правило, снижают сахаристость. При обильном азотном питании в тканях растений свеклы образуются крупные клетки, содержание клеточного сока в них возрастает, а концентрация сахара снижается. Кроме того, часть уже образовавшегося сахара расходуется на связывание минерального азота, поступающего в клетки, в органические соединения. Азот усиливает образование листьев, затягивает созревание свеклы и задерживает процесс сахаронакопления. Все это приводит к уменьшению концентрации сахара в корнеплодах и способствует увеличению содержания азота и золы, которые затрудняют переработку свеклы и уменьшают общий выход сахара. Особенно заметно снижение сахаристости корнеплодов при одностороннем увеличении норм азотных удобрений. В отличие от азотных, фосфорные удобрения в оптимальных нормах всегда повышают сахаристость сахарной свеклы. Применение этих удобрений должно проводиться с учетом содержания подвижного фосфора в почве, так как внесение более высоких норм без учета элементов питания почвы может снизить урожай и сахаристость свеклы. В накоплении сахара в корнеплодах свеклы большую роль играет калий. Под влиянием этого элемента в растениях растворимые азотные соединения накапливаются в незначительных количествах, а сахаристость свеклы и выход сахара с единицы площади возрастают. В повышении сахаристости корнеплодов свеклы важная роль принадлежит микроэлементам. Последние, входя в состав ферментов и целых ферментативных систем, усиливают обмен веществ. На почвах с низким содержанием подвижных форм микроэлементов внесение микроудобрений в оптимальных нормах повышает не только урожай корнеплодов, но и их сахаристость.

3.4.6.5. Клубнеплоды

Одним из важнейших показателей хозяйственной ценности картофеля является содержание в его клубнях крахмала. В сырых клубнях картофеля содержание крахмала чаще всего составляет 12–20 %, и он представлен двумя полисахаридами – амилозой и амилопектином. На долю амилозы в клубнях картофеля приходится 20–25 % общего количества крахмала. Полисахариды крахмала синтезируются в клубнях из углеводов, поступающих по флоэме из наземных органов, и откладываются в клетках запасающей паренхимы в виде крахмальных зерен, большая часть которых сконцентрирована в камбиальном слое и внешней части сердцевины. Значительно меньше их содержится во внутренних слоях сердцевины.

Картофель предъявляет большие требования к количеству питательных веществ, необходимых для образования высокого урожая. Повышенная по-

требность этого растения в элементах питания связана с его биологическими особенностями: наличием слаборазвитой корневой системы и способностью накапливать большое количество сухого вещества на единицу площади. В связи с указанными биологическими особенностями, удобрения оказывают большое влияние на урожай и качество клубней картофеля.

Наиболее дефицитным элементом питания для роста и развития растений клубнеплодов, как и других культур, является азот. При его недостатке в почве растения слабо развиваются и имеют небольшую листовую поверхность, что приводит к снижению содержания в клубнях крахмала, так как с преждевременным отмиранием листьев замедляется поступление углеводов. Избыточное же азотное питание способствует более мощному развитию растений, удлиняет их вегетационный период, задерживает созревание. Кроме того, при внесении высоких норм азотных удобрений под картофель резко возрастает поступление азота в растения, что приводит к перерасходу углеводов на связывание аммиака, образование аминокислот и белка. Все это приводит к снижению содержания крахмала в клубнях картофеля. В то же время азотные удобрения, внесенные в оптимальных нормах, как правило, повышают не только урожай, но и содержание крахмала в клубнях картофеля.

Значительное влияние на биосинтез углеводов в растениях картофеля оказывают фосфорные удобрения. При недостатке в почвах подвижного фосфора применение фосфорных удобрений увеличивает урожай клубней и содержание в них крахмала.

На содержание крахмала в клубнях картофеля калийные удобрения действуют неодинаково. Хлорсодержащие удобрения в большинстве случаев снижают крахмалистость, так как хлор повышает содержание воды в клубнях, усиливает ростовые процессы и задерживает созревание. Снижение содержания крахмала в клубнях при использовании хлористого калия вместо сернокислого калия составляет 0,3–0,6 %. На окультуренных почвах и при умеренных нормах вносимых удобрений действие хлорида и сульфата калия на крахмалистость клубней равноценно. Как правило, хлористый калий положительно влияет на содержание крахмала в клубнях при недостатке калия в почве и отрицательно – при избыточной норме удобрения.

3.4.6.6. Овощные культуры

Среди питательных веществ овощных культур большое значение имеют сахара. Количество этих углеводов в овощах достигает 3–6 % сырой массы. Сахара овощей на 70 % представлены глюкозой, фруктозой и сахарозой. В капусте, томатах, перце, огурце, баклажанах преобладают моносахариды, а в луке – сахароза. Крахмала в большинстве овощей содержится очень мало – не более 0,1 %, и лишь в листовых овощах его концентрация составляет 0,3–1,0 %. В чесноке образуется довольно много полифруктозидов – 20–30 % сырой массы. В овощах также содержатся пектиновые вещества в количестве 0,1–0,2 %, а в капусте – до 1–2 %. Все эти углеводы относятся к легкоусвояемым веществам и поэтому повышают питательную ценность овощной продукции. Однако кроме этих углеводов они содержат и целлюлозу. У большинства овощей количество целлюлозы составляет 0,5–1,0 %, у томатов – 0,2%, капусты – 1–2 %. При повышении ее содержания переваримость всех питательных веществ овощей ухудшается.

Содержание сахаров в овощах в значительной степени зависит от обеспеченности почвы подвижными формами элементов минерального питания. Оп-

тимизация азотного питания овощных культур позволяет значительно повысить содержание в них сахаров и аскорбиновой кислоты. Особенно велика роль азотных удобрений в повышении содержания сахаров в овощах в условиях орошения. Под воздействием азотных удобрений растения растут интенсивнее, формируют мощный физиологически активный фотосинтетический аппарат, что способствует большему накоплению сухого вещества и сахаров. В то же время внесение повышенных норм азотных удобрений может привести к израстанию растений и резкому снижению содержания сахаров в овощах.

Фосфорные удобрения при правильном их применении с учетом обеспеченности почвы подвижными формами фосфора ускоряют развитие овощных растений, стимулируют процесс образования плодов и накопление в них сахаров.

В жизни овощных растений большую роль играет калий, который принимает непосредственное участие в метаболизме. Действие калийных удобрений на содержание сахаров в овощах зависит от содержания в почве обменного калия. Как правило, на почвах, характеризующихся низким содержанием обменного калия, внесение калийных удобрений повышает сахаристость овощей. Применение калийных удобрений на почвах, хорошо обеспеченных обменным калием, не сопровождается увеличением сахаристости овощей.

На содержание углеводов в овощах значительное влияние оказывают микроэлементы. Их влияние на овощные растения многообразно. Микроэлементы усиливают фотосинтез, повышают активность витаминов, влияют на передвижение углеводов и синтез белка. Под действием микроэлементов повышается устойчивость овощных растений к болезням и неблагоприятным условиям окружающей среды. Микроэлементы способствуют увеличению количества бутонов, ускоряют цветение и тем самым повышают урожай, а также содержание сахаров и аскорбиновой кислоты в овощах.

3.4.6.7. Плодово-ягодные культуры

Углеводный состав плодово-ягодных культур непостоянен. На ранних стадиях образования плодов и ягод в них синтезируется много структурных углеводов – пектиновых веществ, гемицеллюлоз, клетчатки, а у некоторых культур образуется крахмал (бананы, яблоки, груши). При переходе растений плодово-ягодных культур к стадии созревания плодов в них активизируются процессы превращения полисахаридов в сахара, причем состав этой фракции определяется спецификой обмена веществ данной культуры. В ягодах сравнительно мало синтезируется сахарозы, и фракция сахаров в них представлена в основном глюкозой и фруктозой. В других плодах кроме глюкозы и фруктозы образуется много сахарозы. Из моносахаридов в семечковых плодах, как правило, преобладает фруктоза, а в косточковых – глюкоза. Общее количество сахаров в плодах и ягодах в большинстве случаев составляет 6–12 % сырой массы, в лимоне – 1–3, землянике – 12–20, а в винограде – 20–26 %.

Плодово-ягодные культуры предъявляют повышенные требования к питательному режиму почв. Недостаток любого элемента питания вызывает, прежде всего, ухудшение роста растения и ослабление фотосинтетической активности ассимиляционного аппарата, что снижает накопление сахаров. При сбалансированном внесении макро- и микроудобрений резко возрастает обеспеченность фотосинтетического аппарата пластидными пигментами и интенсивность фотосинтеза возрастает, что приводит к большему накоплению в листьях ассимилянтов, которые, поступая в плоды и ягоды, усиливают процессы накопления сахаров. Как недостаток, так и избыток минерального

питания в почве снижают активность фотосинтетического аппарата растений, тем самым уменьшая транспорт ассимилянтов, поступающих в репродуктивные органы, и в них меньше накапливается сахаров, в результате чего возрастает концентрация органических кислот.

3.5. Липиды

Липиды образуют один из четырех главных классов соединений, обнаруженных в живых тканях. Три других класса – это углеводы, белки и нуклеиновые кислоты.

Т. Гудвин, Э. Мерсер, 1986

Липиды (от греческого *lipos*-жир) – это разнородный класс веществ, растворимых в диэтиловом и петролейном эфирах, бензоле, хлороформе, сероуглероде и других неполярных растворителях, но нерастворимых в воде. Сюда входят жиры, воски, стероиды, фосфолипиды, гликолипиды, сульфолипиды, цереброзиды.

Липиды встречаются во всех живых клетках растений, но концентрация их в вегетативных структурах растений обычно довольно мала: часто менее 1 % общей сухой массы. В растениях они накапливаются, главным образом, в семенах и плодах (табл. 19; Нечаев А.П., 2003). Однако даже и в этих, казалось бы незначительных, количествах липиды очень важны как обязательные компоненты клеточных мембран. Как продукт питания для человека и сырье для промышленности наибольший интерес из этого класса веществ представляют масла и жиры.

Таблица 19 – Содержание липидов в плодах и семенах, %

Культура	Содержание	Культура	Содержание
Подсолнечник (семянка)	30–58	Пшеница (зерновка)	2,7
Хлопчатник (семена)	20–29	Кукуруза (зерновка)	5,6
Соя (семена)	15–25	Рожь (зерновка)	2,5
Лен (семена)	30–48	Рис (зерновка)	2,9
Арахис (ядро)	50–61	Овес (зерновка)	7,2
Маслины (мякоть)	28–50	Гречиха (зерновка)	3,8
Конопля (семена)	32–38	Просо (зерновка)	4,5
Тунг (ядро плода)	48–66	Арбуз (семена)	14–45
Рапс (семена)	45–48	Какао (бобы)	49–57
Горчица (семена)	25–49	Кедр (ядро ореха)	26–28
Клещевина (семена)	35–59	Кокосовая пальма (копра)	65–72

Весьма поучительна и представляет несомненный интерес история использования человеком основных масличных растений. Древнейшими масличными культурами земледелия Китая являются соя и конопля. Семена сои найдены в ископаемых остатках, относящихся к III тыс. до н. э. По китайским преданиям, патриарх китайского земледелия Шень–нун заложил основы растениеводства на пяти растениях (рис, соя, пшеница, просо, чумиза). Кроме Китая, соя получила затем распространение в Японии и Индии. На территории Российской Федерации она появилась только в конце XIX в. Конопля в земледелии народов Востока – китайцев, монголов, индийцев – появилась за VIII тыс. лет до н. э. Кунжут как масличное растение был известен древнейшим народам Азии и Африки. Например, шумерийцы и вавилоняне возделывали его за IV тыс. лет до н. э. У Теофраста в "*Исследованиях о растениях*" (300 г. до н. э.) даны по-

дробные указания о приемах возделывания этого растения. Страбон (I в. н. э.), говоря о месопотамских земледельческих очагах, писал: "А что касается масла – здесь в употреблении сезамовое масло". Хлопчатник считается древнейшим культурным растением Индии, Перу, Мексики и Ирана.

Находки мака снотворного относятся к земледелию неолита, к быту жителей свайных построек. Старейшим очагом разведения сарептской горчицы был Древний Китай, откуда она проникла в Индию. Сафлор используется народами Азии и Африки с древнейших времен. Арахис происходит из Южной Америки, возделывается во всех странах тропического и субтропического поясов земного шара. Включение подсолнечника в ассортимент возделываемых человеком растений на его родине, в Америке, произошло еще в доколумбово время. Древнейшей масличной культурой народов стран Средиземноморья следует считать также маслину.

3.5.1. Функции липидов

По физиологическому значению липиды делят на резервные и структурные. Резервные липиды депонируются в больших количествах и при необходимости расходуются для энергетических нужд организма. К резервным липидам относят триглицериды. Все остальные липиды можно отнести к структурным липидам.

К основным биологическим функциям липидов относятся: 1) энергетическая; 2) структурная; 3) транспортная; 4) защитная; 5) регуляторная.

Энергетическая функция. Липиды служат энергетическим материалом для растительного организма. Как источник энергии, они используются растением при произрастании семян. При окислении 1 г жира выделяется 39 кДж энергии, т. е. в 2 раза больше, чем при расщеплении 1 г углеводов, поэтому отложение липидов в запас энергетически "выгодно" для растения. Одновременно липиды являются запасными веществами, в форме которых депонируется метаболическое топливо.

Структурная функция. Во всех живых клетках внутренние области клетки отделены от окружающей среды поверхностью, называемой клеточной мембраной. В растениях и бактериях после мембраны снаружи клетки имеется клеточная стенка. Для эукариотических клеток характерно образование внутри клеток нескольких компартментов. Они составляют целый ряд субклеточных органелл, ограниченных мембранами, например, ядро и митохондрии, а также другие субклеточные системы, такие, как аппарат Гольджи и эндоплазматический ретикулум, которые по своей природе являются мембранами. Однако мембраны являются не только высокоорганизованными поверхностями раздела, но и активными биологическими системами, отвечающими за такие процессы, как селективный транспорт веществ внутрь и наружу клетки и субклеточных компартментов, связывание гормонов и других регуляторных молекул, реакции, катализируемые ферментами, передача электрических импульсов и даже синтез АТФ. Наряду с белками в состав биологических мембран входят и липиды. Относительное количество каждого класса соединений существенно различается для различных мембран, варьирует от 1/5 белок + 4/5 липиды до 3/4 белок + 1/4 липиды. Углеводы в форме гликопротеинов и гликолипидов составляют 0,5–10 % вещества мембраны. Липиды биомембран расположены двумя слоями. Каждый монослой состоит из сложных липидов, расположенных таким образом, что неполярные гидрофобные хвосты молекул находятся в тесном контакте друг с другом; в таком же контакте полярные гидрофильные элементы. Все взаимодействия имеют исключительно нековалентный характер. Два монослоя совмещаются, ориентируясь "хвост к хвосту" так, что образуется структура двойного слоя, имеющего неполярную внутреннюю часть и две полярные поверхности. Толщина липидного двойного слоя составляет 3,5–4 нм. Таким образом, липиды являются важнейшим структурным компонентом клеточных мембран.

Транспортная функция. Липиды участвуют в транспорте веществ через биомембраны. Перенос веществ сквозь двойной липидный слой осуществляется через поры в мембране, образованные разрывами в липидном слое, или через каналы, образуемые мембранными белками, пронизывающими мембрану. Вода, некоторые органические ионы и соединения типа липидов – вот примеры веществ, переносимых по этому механизму. От свойств и структуры мембранных липидов во многом зависит активность мембраносвязанных ферментов, особенности протекания процессов *окислительного фосфорилирования**. Одна из наиболее важных

* Окислительное фосфорилирование – процесс фосфорилирования АДФ с образованием АТФ, сопряженный с транспортом электронов от восстановленных коферментов к кислороду воздуха.

функций липидов в мембране заключается в их способности служить "кофактором твердого состояния", обеспечивая высокоупорядоченное ориентированное гидрофобное окружение для определенных ферментных реакций.

Защитная функция. Липиды кутикулярного слоя, покрывающего клетки эпидермиса, предотвращают как избыточное поступление воды внутрь растения, так и чрезмерное испарение из растения. Кроме того, восковой налет на листьях и плодах растений защищает их от проникновения микроорганизмов. Благодаря низкой теплопроводности липиды ослабляют отрицательное влияние как высоких, так и низких температур окружающей среды на организм.

Регуляторная функция. Липиды выполняют функцию регуляции метаболизма. Многие из них являются предшественниками витаминов и фитогормонов. Как компоненты пластидных пигментов, липиды оказывают влияние на интенсивность и продуктивность фотосинтеза.

3.5.2. Строение и классификация липидов

По химическому строению липиды являются производными одноосновных высших карбоновых (жирных) кислот, спиртов, альдегидов, построенных с помощью простой эфирной, сложной эфирной, фосфоэфирной, гликозидной связей. **Жирные кислоты** – это длинные углеводородные цепи, несущие на одном из концов карбоксильную ($-\text{COOH}$) группу. Углеводороды могут быть насыщенными или ненасыщенными. **Насыщенные жирные кислоты** содержат концевую метильную группу ($-\text{CH}_3$), разное число метиленовых групп ($-\text{CH}_2$) и концевую карбоксильную ($-\text{COOH}$) группу. Длина углеводородной цепи, как правило, варьирует от C_{14} до C_{22} . При этом чаще всего встречаются жирные кислоты C_{16} (пальмитиновая) и C_{18} (стеариновая). Число атомов углерода всегда четно для насыщенных жирных кислот высших растений, но может быть нечетным у некоторых морских водорослей. **Ненасыщенные жирные кислоты** содержат одну (моноеновые) или более (полиеновые) двойных связей, которые почти всегда находятся в цис-конформации. Среди мононенасыщенных кислот чаще всего встречаются C_{16} (пальмитоолеиновая) и C_{18} (линоленовая). Жирные кислоты с более чем одной двойной связью широко распространены у растений. Если двойная связь только одна, она, как правило, расположена между 9 и 10 углеродными атомами жирной кислоты (за положение 1 принимается концевой атом углерода карбоксильной группы). Другие двойные связи располагаются между 10 атомом углерода и концом цепи, несущим метильную группу; при этом между каждой парой двойных связей находится по крайней мере одна группа $-\text{CH}_2$. Наименования наиболее распространенных в природе жирных кислот приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты

Название	Структурная формула
Насыщенные	
Уксусная (этановая)	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$
Пропионовая (пропановая)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$
Масляная (бутановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CO}_2\text{H}$
Капроновая (гексановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CO}_2\text{H}$
Каприловая (октановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$
Каприновая (декановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CO}_2\text{H}$
Лауриновая (додекановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$
Миристиновая (тетрадекановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$
Пальмитиновая (гексадекановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$
Стеариновая (октадекановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$
Арахидиновая (эйкозановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CO}_2\text{H}$
Лигноцериновая (тетракозановая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{CO}_2\text{H}$
Ненасыщенные	
Кротоновая	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCO}_2\text{H}$
Пальмитоолеиновая (гексадеценная)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Олеиновая (октадеценная)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Линолевая (октадекадиеновая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_2(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Линоленовая (октадекатриеновая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Арахидоновая (эйкозантетраэновая)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_4(\text{CH}_2)_3\text{CO}_2\text{H}$
Ацетэруковая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{13}\text{CO}_2\text{H}$
Ксименииевая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}-\text{C} \equiv \text{C}-(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Микомицин	$\text{CH}=\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{CH}=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CO}_2\text{H}$

Если жирные кислоты с насыщенной или ненасыщенной неразветвленной цепью, содержащей четное число атомов углерода, в природе встречаются довольно часто, то кислоты с ненасыщенной неразветвленной цепью, содержащей нечетное число атомов углерода, очень редко. У трех организмов найдены жирные кислоты, содержащие циклопропановое кольцо – лактобацилловая кислота. Жирные кислоты, содержащие циклопропановое кольцо (стеркуловая кислота) и циклопентановое кольцо (хаульмугровая кислота), выделены из растений.

Основная часть жирных кислот организма входит в состав сложных липидов, главным образом триглицеридов и фосфолипидов. Свободные жирные кислоты составляют лишь небольшую часть всех жирных кислот растений. Они при высоких концентрациях токсичны для организма.

Природные жирные кислоты имеют как животное, так и растительное происхождение. Животные жиры – это в основном смесь насыщенных жирных (40–60 %) и мононенасыщенных (30–50 %) кислот, в которой присутствуют следовые количества полиненасыщенных жирных кислот. Животные жиры почти всегда находятся в форме ацилглицеролов, т. е. липидов, наиболее типичные из них – триацилглицеролы. Растительные жиры, или, точнее, масла, как правило, содержат меньше насыщенных жирных кислот (10–20 %) и много ненасыщенных (80–90 %). Состав ненасыщенной фракции зависит от вида растения. Например, оливковое масло на 79 % состоит из олеиновой кислоты, а подсолнечное – на 75 % из линолевой кислоты.

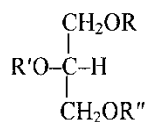
Липиды образуются в результате этерификации жирных кислот соединениями, содержащими ОН-группы; как правило, это трехатомный спирт глицерол и аминокислота сфингозин. Помимо жирных кислот, к спиртовому компоненту могут быть присоединены и другие группы, такие, как аминогруппы, кислоты и углеводы. Благодаря этому образуется множество различных липидов с разнообразными свойствами.

Характерная особенность липидной молекулы состоит в том, что она построена из двух частей: несущей электрические заряды (полярной) "головки", на которую обычно приходится не более четверти длины всей молекулы, и длинных "хвостов", не несущих электрического заряда. Хвосты липидной молекулы – длинные цепи, построенные из атомов углерода и водорода. Связующим звеном между "хвостом" и "головкой" в липидных молекулах чаще всего служит остаток глицерина. Следует отметить, что полярные головки всех липидных молекул либо заряжены отрицательно, либо нейтральны, т. е. несут одновременно и отрицательные и положительные заряды. Положительно заряженные "головки" в природе не встречаются.

До настоящего времени единая классификация липидов не создана ввиду огромного их многообразия. При отнесении липидов к той или иной группе учитывают гидрофобность липидов или же их растворимость.

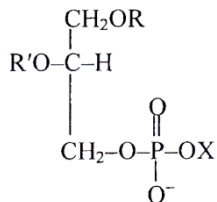
Согласно наиболее распространенной классификации Р.П. Евстигнеева и др. (1976), все липиды делятся на три группы.

1. **Нейтральные липиды.** К ним относятся производные высших жирных кислот, спиртов и альдегидов общей формулы



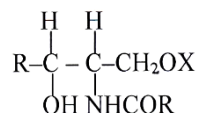
Такие соединения имеют гидрофобные свойства. Это триглицериды (R–ацил), нейтральные плазмалогены (R–OCH=CHR), алкилдиацилглицериды (R'–алкил), гликозилдиглицериды (R''–гликозильный остаток). К нейтральным липидам относятся также диольные липиды, простые и сложные эфиры холестерина, гликолипиды разнообразной природы.

2. **Фосфолипиды** (глицерофосфолипиды). Молекулы этих соединений являются производными глицерина и содержат гидрофобные остатки R и R', а также гидрофильный компонент X.

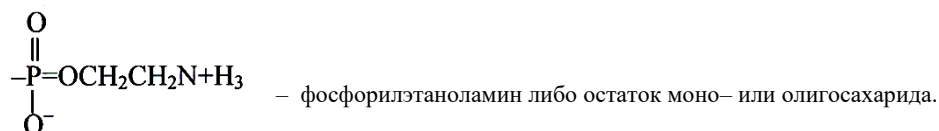
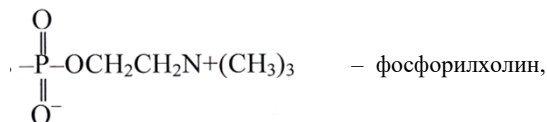


Гидрофильным компонентом фосфолипидов являются фосфорная или фосфоновая кислоты и связанные с ними спирты (холин, этаноламин), аминокислоты, многоатомные спирты.

3. **Сфинголипиды.** Отличаются содержанием в молекуле остатка аминспирта, который называют сфингозиновым основанием. Общая формула сфинголипидов



в молекулах сфинголипидов в качестве заместителя X может быть



Согласно классификации И.В. Савицкого (1973), липиды делят на четыре группы:

1. **Простые липиды.** Это эфиры жирных кислот с разнообразными спиртами. К ним относятся жиры – эфиры жирных кислот с глицерином (глицериды) и воски – эфиры жирных кислот с одноатомными алифатическими спиртами. К воскам относят истинные воски (эфиры цетилового или другого высшего спирта с неразветвленной цепью и пальмитиновой, стеариновой, олеиновой или другой высшей жирной кислотой), а также эфиры холестерина, витамина А, витамина D и высших жирных кислот.

2. **Сложные липиды.** Это эфиры жирных кислот со спиртами, которые содержат другие заместители по гидроксильной группе. К ним относятся:

- а) фосфолипиды. Молекулы этих соединений, как правило, содержат жирные кислоты, глицерин, фосфорную кислоту и азотистые основания;
- б) гликолипиды (цереброзиды). В состав их молекул не входит глицерин и фосфат, однако они содержат одновременно жирные кислоты и углеводный компонент;
- в) сульфолипиды. Для них характерно наличие серы в молекуле;
- г) липопротеиды – сложные соединения липидов с белками;
- д) липополисахариды – сложные комплексы липидов с полисахаридами.

3. **Производные липидов.** Соединения этой группы можно получить в результате гидролиза липидов перечисленных выше групп. Производными липидов являются:

- а) жирные кислоты (насыщенные и ненасыщенные);
- б) моно- и диглицериды;
- в) глицерин, стерины, некоторые стероиды (витамины группы D), спирты, содержащие β-иононовое кольцо (витамины группы А);
- г) жирные альдегиды;
- д) липидная часть липопротеидов.

4. **Различные липиды.** К этой группе следует отнести алифатические углеводороды, сквален и другие терпены, витамины Е и К, эфиры глицерина, гликозилглицерины и другие соединения.

Приводим еще одну классификацию липидов, предложенную А. Уайтом, Ф. Хендлером, Э. Смитом и др. (1981).

1. **Жирные кислоты.**

2. **Глицеринсодержащие липиды.** Это нейтральные жиры (моно-, ди- и триацилглицерины, простые эфиры холестерина, гликозилглицериды) и фосфоглицериды (фосфатиды, дифосфатидилглицериды и фосфоинозитиды).

3. **Липиды**, не содержащие глицерин: сфинголипиды (церамиды, сфингомиелины, глико-сфинголипиды), алифатические спирты и воски, терпены и стероиды.

4. **Липиды**, связанные с веществами других классов: липопротеиды, протеолипиды, фосфатидопептиды, липоаминокислоты и липополисахариды.

Липиды могут быть разделены на две группы: 1) *жиры* и 2) жироподобные вещества, так называемые *липоиды*.

Простые липиды включают вещества молекулы, которых состоят из остатков жирных кислот (или альдегидов) и спиртов. К ним относятся жиры (триглицериды и другие нейтральные

глицериды), воски (эфиры жирных кислот и жирных спиртов) и диольные липиды (эфиры жирных кислот и этиленгликоля или других двухатомных спиртов).

Сложные липиды включают производные ортофосфорной кислоты (фосфолипиды) и липиды, содержащие остатки сахаров (гликолипиды). К липидам относят также некоторые вещества, не являющиеся производными жирных кислот, – стерины, убихиноны, терпены.

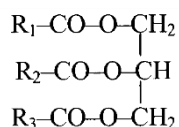
По строению и способности к гидролизу липиды разделяют на омыляемые и неомыляемые. *Омыляемые липиды* при гидролизе образуют несколько структурных компонентов, а при взаимодействии со щелочами – соли жирных кислот (мыло). К группе *неомыляемых липидов* относятся стероиды, терпеноиды – основной компонент эфирных масел (лимонного, мятного, гераниевого, скипидарного и др.), получаемых из растений.

Для липидов растений наиболее приемлема следующая классификация:

1. Жиры
2. Воска
3. Стероиды
4. Липофильные пигменты
5. Амфпатические липиды
 - 5.1. Фосфолипиды
 - 5.2. Гликолипиды
 - 5.3. Сульфолпиды
 - 5.4. Цереброзиды

3.5.2.1. Жиры

Жиры являются сложными эфирами трехатомного спирта глицерина и высших карбоновых кислот. Среди соединений этой группы различают жиры и масла: к **жирам** относятся те триацилглицеролы, которые при комнатной температуре остаются твердыми, а **маслам** – те, которые в этих условиях сохраняют жидкую консистенцию. Общая формула для масел и жиров:



где: R₁, R₂ и R₃ – углеводородные цепочки одной и той же или разных жирных кислот.

В маслах, как правило, присутствует больше ненасыщенных жирных кислот, чем в жирах.

Жиры и масла встречаются во всех частях растений. Обычно вегетативные органы содержат жир в более низкой концентрации, чем плод и семя. Так, в вегетативных органах растений содержание жиров редко превышает 5 % сухой массы. В то же время некоторые плоды и семена могут содержать более 50 % жиров в расчете на сухую массу (табл. 21; Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Дроздова В.В. и др., 2004).

Таблица 21 – Содержание масла в семенах масличных культур, % сухой массы

Культура	Содержание	Культура	Содержание
Подсолнечник	29–56	Кунжут	48–63
Сафлор	25–37	Перилла	26–49
Горчица сизая	35–47	Ляллеманция	29–37
Рапс озимый	45–49	Арахис	41–55
Рыжик	25–46	Соя	15–24
Клещевина	47–58	Лен масличный	30–49

Насыщенность жирами семян масличных культур делает их ценнейшим сырьем для производства масел, использующихся в пищевых и промышленных целях. Следует отметить еще и другую полезность жиров. При их окислении высвобождается больше метаболической воды, чем при окислении других запасных веществ – углеводов, белков. Это имеет большое значение для выживания растений в условиях водного стресса.

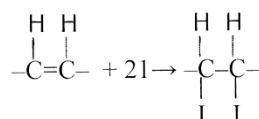
Растительные жиры не являются индивидуальными веществами, а представляют собой смеси триглицеридов; последние могут быть *однокислотными* и *разнокислотными*. Однокислотными глицеридами называют такие глицериды, в состав которых входит какая-либо одна кислота. Чаще всего таковыми являются олеиновая, рицинолеиновая или стероиновая. Однако та-

кие однокислотные триглицериды в составе жиров встречаются исключительно редко, лишь в немногих растительных маслах. Подавляющее большинство растительных масел состоит из смесей разнокислотных глицеридов. Растительные масла не являются также чистыми триглицеридами, а всегда содержат некоторое количество примесей. Как правило, в масле содержится 95–98 % глицеридов, 1–2 % свободных жирных кислот, до 1–2 % фосфатидов, 0,3–0,5 % стероидов, а также карбаноиды и витамины. Состав жирных кислот, входящих в масло, относительно постоянен для каждого вида растений.

Основными показателями, характеризующими свойства жира, являются температура его плавления, кислотное число и число омыления. Температура плавления зависит от преобладания в жире тех или иных жирных кислот. Если в жирах преобладают насыщенные кислоты – пальмитиновая, стеариновая, миристиновая, с высокими температурами плавления, то жир будет твердым при комнатной температуре, а если преобладают ненасыщенные кислоты – линолевая, линоленовая, то жиры будут иметь жидкую консистенцию.

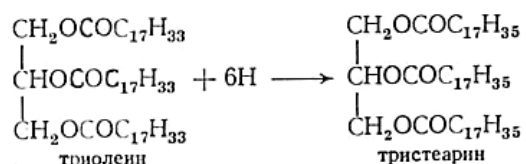
Кислотное число – количество миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г жира. Кислотное число указывает на количество свободных жирных кислот, оставшихся неиспользованными при биосинтезе масла во время созревания семян, или на начавшуюся порчу масла, сопровождающуюся увеличением содержания свободных жирных кислот. Это весьма важный показатель свойств и состояния жира, так как оно может легко увеличиваться при хранении, как жира, так и богатых жиром пищевых продуктов. Для подсолнечного масла высшего сорта кислотное число (мг КОН) не должно быть более 1,3; первого – 2,2; второго – 5.

Иодное число – количество граммов иода, связываемое 100 г данного жира. Так как присоединение иода происходит по месту двойных связей, имеющихся в ненасыщенных жирных кислотах, иодное число дает представление о содержании в жире этих ненасыщенных кислот. Присоединение иода идет по схеме:



Иодные числа большинства животных жиров колеблются в пределах 30–70, а растительных – 120–160. По величине иодного числа растительные жиры делят на высыхающие – с иодным числом ≥ 130 (льняное, конопляное) и невысыхающие – с иодным числом < 85 (клевещиновое, арахисовое). Чем выше иодное число, тем более жидок и легче окисляется жир, тем более он пригоден для приготовления лаков, красок и олифы.

Жидкие растительные масла превращают в твердые жиры путем гидрогенизации. Сущность процесса *гидрогенизации* заключается в том, что триацилглицерины ненасыщенных кислот, входящие в состав жидких жиров, реагируют с водородом в присутствии катализаторов и переходят в триацилглицерины насыщенных кислот. В результате реакции к каждой двойной связи присоединяются два атома водорода и жир из жидкого состояния переходит в твердое:



Гидрогенизованные растительные масла используют для изготовления маргарина.

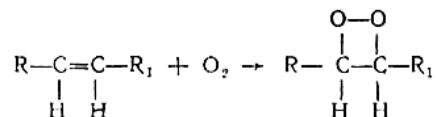
При действии кислот и щелочей на жиры происходит расщепление сложноэфирной связи – так называемое *омыление жира*, сопровождающееся образованием свободного глицерина и жирных кислот или же их солей, называемых маслами.

Число омыления – количество миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации, как свободных, так и связанных с глицерином жирных кислот, получающихся при омылении 1 г масла. Число омыления характеризует среднюю величину молекулярной массы ацилглицеринов, которые входят в состав жира.

При длительном хранении жиры приобретают неприятный горьковатый вкус и специфический запах – портятся, прогоркают. Прогоркание жиров может вызываться чисто химическими реакциями, связанными с действием света, воздуха и воды. Это может происходить и фермен-

тативным путем. Так, под воздействием фермента липазы может произойти разложение жира аналогично реакции омыления. Некоторые свободные жирные кислоты, которые выделяются при таком разложении жиров, придают ему неприятный вкус и запах. Кислотное число жира при этом повышается.

Прогоркание жиров может произойти и от жизнедеятельности микроорганизмов. Однако наиболее распространенным типом прогоркания жиров является прогоркание, обусловленное окислением ненасыщенных жирных кислот кислородом воздуха. При этом кислород присоединяется по месту двойных связей, образуя перекиси.



В результате дальнейшего разложения образовавшихся перекисей жирных кислот получают альдегиды, придающие жиру неприятный запах и вкус. Этот процесс ускоряется присутствием небольших количеств влаги, повышенной температурой и светом. При хранении жира без доступа воздуха, т. е. в вакууме, он не будет прогоркать. Для предотвращения окислительного прогоркания жиров к ним добавляют антиокислители. К таковым относятся витамин Е, т. е. токоферол.

3.5.2.2. Кутин, суберин и воска

Внешняя поверхность стеблей, листьев, плодов и цветочных лепестков покрыта относительно непроницаемым для воды слоем, кутикулой. Кутикула состоит из воска и кутина и прикреплена к клеткам эпидермы слоем пектина (рис. 24; Norris R.F., Bukovac M.J., 1968).

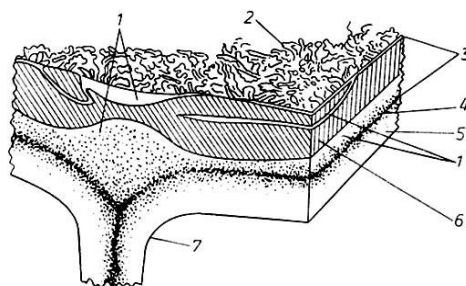


Рис. 24. Схема наружной клеточной стенки верхней эпидермы листа груши, демонстрирующая строение кутикулы и воска

1 – матрикс из кутина; 2 – воск эпикуткулы; 3 – кутикула; 4 – пектиновые вещества; 5 – клеточная стенка из целлюлозы; 6 – двоякопреломляющий слой воска, погруженный в кутин; 7 – антиклинальная стенка.

Воска представляют собой сложные эфиры высших моноатомных спиртов жирного (реже ароматического) ряда и высших жирных кислот. Это наиболее гидрофобные вещества из всех липидов. Помимо упомянутых эфиров, воска содержат некоторое количество свободных высших спиртов с четным числом атомов (от 22 до 32 атомов углерода), свободных высших жирных кислот с длинной цепью (от 24 до 36 атомов углерода), а также незначительное количество насыщенных углеводородов с нечетным числом углеродных атомов (от 21 до 37 атомов углерода), душистых и красящих веществ. Общее количество этих примесей в восках может достигать 50 %.

Воска образуются в цитоплазме и накапливаются в виде отдельных пластинок в клеточной стенке эпидермальных клеток, откуда они выступают на поверхность в виде гранул, палочек, ячеек. Они покрывают тонким слоем листья, стебли, стволы и плоды растений. Восковой налет на плодах винограда, груш, слив и яблок предохраняет их от смачивания водой, высыхания и проникновения микроорганизмов, а также ряда вредных насекомых. В состав воска входят как обычные жирные кислоты, содержащиеся в жирах, – пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, так и жирные кислоты, характерные только для них, – карнаубовая $\text{C}_{24}\text{H}_{48}\text{O}_2$, монтановая

$C_{29}H_{58}O_2$ и церотиновая $C_{27}H_{54}O_2$. Среди высокомолекулярных спиртов, входящих в состав воска, необходимо в первую очередь отметить следующие: цетиловый спирт $CH_3(CH_2)_{14}CH_2OH$, мирициловый спирт $C_{31}H_{63}OH$, п-гексакозанол $CH_3(CH_2)_{24}CH_2OH$ п-октакозанол $CH_3(CH_2)_{26}CH_2OH$ и п-триакоктанол $CH_3(CH_2)_{28}CH_2OH$.

В семенах восков мало. Так, в оболочках семян подсолнечника содержится 0,2 %; в семенах льна 0,03 %, в семенах сои всего около 0,01 % массы оболочек. Однако листья некоторых растений выделяют так много воска, что его используют на выделку свечей.

Кутин и **суберин** – уникальные нерастворимые липидные полимеры, являющиеся важными структурными компонентами клеточных стенок многих растений. Их главная функция заключается в том, что они образуют основу, в которую погружены воска. Кутин вместе с погруженными в него восками образует кутикулу, которая покрывает наружные стенки эпидермальных клеток. Кутикула имеет сложную структуру и состоит из нескольких слоев. Наружный слой сформирован восками, отложенными на поверхности, и называется эпикутикулярным воском. Под ним расположена собственно кутикула, состоящая из кутикулярного слоя и воска. Ниже могут лежать один или более так называемых кутикулярных слоев, образованных целлюлозой, кутинном и воском. Наконец, между кутикулой и клеточной оболочкой может лежать еще слой пектина. Суберин – основной компонент клеточных стенок пробки, содержится и в посяках Каспари клеток эндодермы, и в клеточных стенках обкладок проводящих пучков и листьев злаков. Под электронным микроскопом содержащие суберин оболочки выглядят ламеллярными, т. е. слоистыми, состоящими из чередующихся светлых и темных полос. Считается, что светлые полосы состоят из восков, темные – из суберина.

3.5.2.3. Стероиды

Стероиды – производные циклопентанпергидрофенантрена, содержащие три нелинейно конденсированные насыщенные циклогексановые и одно циклопентановое кольцо. Они относятся к терпеноидам. Характерными особенностями почти всех природных стероидов является присутствие кислородсодержащего заместителя у C3, наличие метильных групп, связанных с C10 и C13 и отсутствие двойных связей в циклах.

К стероидам относятся высокомолекулярные спирты, стеролы (стерины), их сложные эфиры, называемые стеридами, сапогенины, ряд гормонов, яды и витамины группы D (эргостерол). В клетках все стероиды присутствуют в следовых количествах, за исключением стеринов (стеролов), содержание которых в отдельных случаях может превышать 2 %.

К стеролам относятся стероиды, имеющие от 8 до 10 углеродных атомов в боковой цепи у C17 и гидроксильную группу в положении C3. Стероиды, выделены из зародышей пшеницы и листьев кукурузы. Эти липиды играют важную роль в составе протоплазмы, образуя с белками сложные комплексы, участвующие в построении внутриклеточных мембран.

Стериды представляют собой сложные эфиры стеролов (стеринов) и высших жирных кислот, пальмитиновой, стеариновой и олеиновой. Как правило, стериды в растениях встречаются в форме комплексов с белками. Они не растворяются в воде, но хорошо растворимы во всех жировых растворителях.

3.5.2.4. Липофильные пигменты

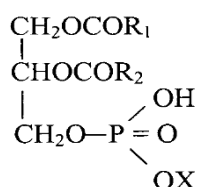
К этой группе липидов относятся растворимые в органических растворителях пигменты – хлорофиллы и каротиноиды. В настоящее время известно около 10 хлорофиллов. Они отличаются по химическому строению, окраске, распространению среди живых организмов. У всех высших зеленых растений содержатся хлорофиллы **a** и **b**. Хлорофилл **c** содержится в диатомовых водорослях, хлорофилл **d** – в красных водорослях. Кроме того, известны четыре бактериохлорофилла (**a**, **b**, **c** и **d**), содержащихся в клетках фотосинтезирующих бактерий. В клетках зеленых бактерий содержатся бактериохлорофиллы **c** и **d**; пурпурных бактерий – бактериохлорофиллы **a** и **b**. Хлорофиллы **a** и **b** различаются по цвету. Хлорофилл **a** имеет синезеленый оттенок, а хлорофилл **b** – желто-зеленый. Содержание хлорофилла **a** в фотосинтетическом аппарате растений примерно в три раза больше по сравнению с хлорофиллом **b**.

По химическому строению хлорофилл – это сложный эфир дикарбоновой органической кислоты, хлорофиллина и двух остатков спиртов – фитола и метилового. Хлорофиллин представляет собой азотосодержащее металлоорганическое соединение, относящееся к магнийпорфиринам. Эмпирическая формула хлорофиллина следующая: $MgN_4OH_{30}C_{32}(COOH)_2$. В хлорофилле водород карбоксильных групп замещен остатками двух спиртов – метилового CH_3OH и фитола $C_{20}H_{39}OH$. Формула хлорофилла **a** – $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$, хлорофилла **b** – $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$, т. е. хлорофилл **b** имеет на два атома водорода меньше и на один атом кислорода больше (в структуре хлорофилла **b** одна метильная группировка заменена альдегидной).

Молекула хлорофилла полярна, ее фитольный "хвост" обладает гидрофобными, т. е. водоотталкивающими свойствами, но имеет сродство к жирам, в то время как "головка" его молекулы, ее порфириновое ядро, гидрофильно, т. е. имеет сродство к воде. Эта двойная природа важна для фиксирования молекулы хлорофилла в ламеллярной структуре хлоропласта. Молекулы хлорофилла расположены между слоями белков и липидов таким образом, что их "головки" обращены к белкам, липофильные "хвосты" закрепляются в липидном слое, где находятся также липофильные вспомогательные пигменты, каротиноиды. Все каротиноиды представляют собой производные изопрена ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$), состоящие из 40 углеродных атомов. Они относятся к так называемым полиеновым пигментам, которые отличаются системой конъюгированных, т. е. чередующихся связей. Ненасыщенность молекул каротиноидов обуславливает их окраску (красную, оранжевую, желтую) и высокую химическую активность. Каротиноиды делятся на каротины общего состава $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ и кислородсодержащие производные ксантофиллы $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$. Поглощая коротковолновые лучи, каротиноиды выполняют роль экрана, защищающего хлорофилл от витацидной радиации. Каротиноиды, как и хлорофиллы, – липофильные вещества, т. е. они хорошо растворимы в жирах.

3.5.2.5. Амфпатические липиды

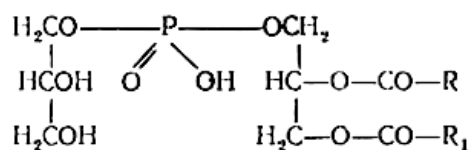
Фосфолипиды. Фосфолипиды (фосфатиды) относятся к классу сложных липидов. Отличаются от настоящих жиров тем, что в их состав входит фосфорная кислота и другие соединения, чаще всего содержащие азот. Общая формула фосфолипидов следующая:



где: R_1 и R_2 – остатки жирных кислот: линолевой, линоленовой, пальмитиновой, стеариновой и т.д.

X – остаток азотистого основания или аминокислоты серина.

Из азотистых оснований, входящих в состав фосфолипидов, наиболее распространен холин – сильное основание, легко растворимое в воде и спирте, но не растворимое в эфире. Холин под воздействием соответствующих ферментов может передавать содержащийся в нем метильные группы другим веществам, что определяет его важную роль в метаболизме. В зависимости от химической природы вещества X , входящего в состав фосфолипида, все фосфолипиды подразделяют на несколько групп. Холинфосфолипиды, или лецитины, содержат холин; коламинфосфолипиды, или кефалины – коламин; серинфосфолипиды – аминокислоту серин; инозитфосфолипиды – спирт инозит. В растениях найдены также, фосфолипиды, не содержащие азотистые основания, – фосфатидные кислоты. Они обнаружены в зародышах пшеницы, листьях капусты, а также в млечном соке каучуконосных деревьев. Фосфатидные кислоты находятся в растениях в виде кальциевых, магниевых и калиевых солей. Фосфатидные кислоты могут присоединять к себе еще один остаток глицерина, образуя фосфатидилглицерин:



Фосфатидилглицерин в значительных количествах содержится в хлоропластах, составляя до 50 % от общего количества липидов в листьях. Роль фосфолипидов в клетке очень велика, особенно – в построении клеточных мембран. Фосфорный конец молекулы фосфолипида является гидрофильным ("любящий воду") и поэтому в отличие от гидрофобных жирных кислот растворим в воде. Добавленные к воде фосфолипиды стремятся образовать пленку на ее поверхности, причем их полярные головки погружаются в воду, а нерастворимые цепи жирных кислот, т. е. хвосты торчат над водой. В водной среде клеток фосфолипиды самоорганизуются в ряды, в которых нерастворимые жирные кислоты направлены друг к другу, а фосфатные концы – наружу. Такие конфигурации занимают важное место в структуре клеточных мембран.

Слоистые структуры, образованные в растворах фосфолипидами, играют важную роль в построении клеточных мембран. Фосфолипиды – природные антиоксиданты, они предохраняют масла от окисления, легко окисляясь сами. Содержание фосфолипидов в растениях незначительное. Наибольшее его количество содержится в семенах сои – 1,5–2,0 %.

Гликолипиды. Гликолипиды в качестве спирта содержат или глицерол, или сфингозин, углеродный компонент, остатки жирных кислот. Они в отличие от фосфолипидов не содержат остатка фосфорной кислоты. В качестве углеводного компонента в гликолипидах могут выступать глюкоза, галактоза, глюкозамин, галактозамин и их ацетильные производные либо олигосахаридные цепи, состоящие из перечисленных моносахаридов. Высшие жирные кислоты, входящие в состав гликолипидов, весьма разнообразны. Наиболее важные представители класса гликолипидов: моногалактозилдиацилглицеролы, ди-галактозилдиацилглицеролы и тригалактозилдиацилглицеролы. Первые два гликолипида были первоначально выделены из пшеницы, а третий – клубней картофеля. Основная масса клеточных гликолипидов находится в хлоропластах и лишь незначительные их количества присутствуют в митохондриях. Гликолипиды в хлоропластах локализованы в мембранах; отношение моногалактозилдиацилглицеролы : ди-галактозилдиацилглицеролы в мембранах оболочки хлоропластов составляет примерно 0,9:1, тогда как в мембранах тилакоидной системы оно, как правило, 2:1.

Сульфополипиды. По строению сульфополипиды близки к гликолипидам. Единственным представителем этого класса, присутствующим в тканях растений, – это сульфополипид, часто называемый сульфополипидом. В молекуле этого соединения гликозильный остаток 6-сульфо-6-дезоксид-Д-глюкоза соединена α -гликозидной связью с *sn*-3-положением 1,2-диацил-*sn*-глицерола. Следует отметить, что гликозильный остаток является сульфатным (связь С–S), а не сульфатным эфиром (связь С–O–S). В этом соединении преобладающая жирная кислота – α -линолевая C_{18:2}, но может быть также и пальмитиновая C_{16:0}. В растениях сульфополипид локализован в хлоропластах, преимущественно в мембранах тилакоидной системы. В меньших количествах он обнаружен в этилопластах и пропластидах. Очень небольшие количества этого липида (около 1 % от их общего количества) содержатся в клубнях картофеля и плодах яблок.

Цереброзиды. Цереброзиды состоят из остатков моносахарида-галактозы, присоединенного гликозидной связью к первому углеродному атому N-ацелированного производного сфинганина-церамида. Цереброзиды обнаружены в зерновках пшеницы, в листьях фасоли, клубнях картофеля, плодах яблони и грибах.

3.5.3. Методы определения липидов

Для экстракции и разделения липидов используются органические растворители, которые не только растворяют липиды, но и способны разрушать липопротеидные комплексы, чем достигается экстракция, как свободных липидов, так и липидов, входящих в состав этих комплексов. Степень извлечения липидов может достигать 96–98%. Чаще всего для экстракции липидов применяют петролейный эфир, диэтиловый эфир и хлороформ. Используются также смеси растворителей различной полярности, например хлороформ – метанол, этанол – диэтиловый эфир и др. Как правило, использование смесей растворителей приводит к более полной экстракции липидов из различных тканей.

Для разделения нейтральных липидов используют различные хроматографические методы. Чаще всего для разделения нейтральных липидов применяют кремниевую кислоту и силикагель. Пропитывая тонкий слой силикагеля раствором нитрата серебра, можно повысить разрешающую способность адсорбента и получить разделение глицеридов по степени не насыщенности.

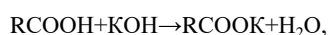
Фосфолипиды разделяют, используя их различную растворимость в органических растворителях. Выделение "лецитиновой" и "кефалиновой" фракций возможно с учетом именно этого свойства. Данные фракции не являются чистыми, а представляют собой смеси близких по физико-химическим свойствам фосфолипидов, обогащенных фосфатидилхолинами (первые) и фосфатидилэтаноламинами (вторые). Обычно фосфолипиды разделяют методом адсорбционной хроматографии на кремниевой кислоте или силикагеле (в тонком слое или колонках), используется также ДЭАЭ- и ТЭАЭ-целлюлоза. При хроматографии на колонке с кремниевой кислотой (при увеличении доли метанола в составе элюента) фосфолипиды разделяются в такой последовательности: фосфатидил-этаноламины, фосфатидилинозитиды, фосфатидилхолины, сфингомиелины. Полученные фракции в дальнейшем можно очистить методом ТСХ, однако, и после такой очистки каждое пятно на хроматограмме содержит фосфолипиды, которые различаются длиной цепи и степенью ненасыщенности остатков жирных кислот, а также типами связей гидрофобных компонентов с полиолом (диацильные, плазмалогенные или алкильные фосфолипиды).

Как и для нейтральных липидов, эффективным приемом разделения фосфолипидов по степени ненасыщенности остатков жирных кислот является хроматография в слоях адсорбента, пропитанного раствором нитрата серебра.

Методы определения содержания липидов основаны на их способности растворяться в различных органических растворителях. Свободные липиды экстрагируются из анализируемого материала неполярными растворителями (гексаном, диэтиловым эфиром), связанные – системами растворителей, содержащих, как правило, спирт (смесь хлороформа и метанола, взятых в объемном соотношении 2:1). Прочносвязанные липиды получают из обработанного щелочами и кислотами шрота, оставшегося после выделения связанных липидов.

Наиболее удобным для определения содержания сырого жира в семенах и вегетативных органах растений является метод, предложенный Сокслетом. Экстракцию жира производят этиловым (серным) эфиром. Извлеченный сырой жир освобождают от растворителя и взвешивают. Состав и качество жиров и масел характеризуют с помощью разнообразных аналитических "чисел", подразумевая под ними расход определенных реагентов на реакции с жиром. Наибольшее значение имеют числа: кислотное, омыление, иодное, перекисное.

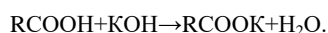
Кислотное число – показатель качества масла. Он может изменяться в процессе длительного хранения как семян масличных культур, так и масла, вследствие гидролиза жиров. Для определения кислотного числа масло нейтрализуют титрованным раствором КОН. В результате чего между гидроксидом калия и находящимися в масле свободными жирными кислотами идет следующая реакция:



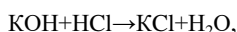
где: RCOOH – жирная кислота.

По количеству раствора КОН, затраченного на нейтрализацию кислот, судят о величине кислотного числа.

Для определения **числа омыления** жир кипятят с избытком титрованного раствора гидроксида калия, в результате чего он гидролизуется. Освободившиеся жирные кислоты реагируют с гидроксидом калия:

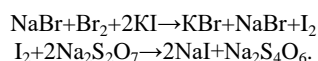


Избыток щелочи, которая не прореагировала с жирными кислотами, оттитровывают соляной кислотой:



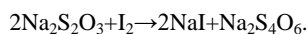
и по количеству щелочи, затраченной на связывание всех кислот жира, рассчитывают величину числа омыления.

Для установления вида жира, способности его к "высыханию", расчета потребного количества водорода на его гидрогенизацию определяют **иодное число**. Существует несколько методов определения этого показателя. Одним из наиболее распространенных является бромометрический метод. При этом применяется раствор брома в безводном метиловом спирте, насыщенном бромистым натрием. Бром образует непрочное комплексное соединение с бромистым натрием: $\text{NaBr} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{NaBr} \cdot \text{Br}_2$. Отщепляясь, бром реагирует с ненасыщенными глицеринами. Количество не прореагировавшего брома определяют иодометрически:



Зная исходное количество брома, вычисляют иодное число.

В присутствии кислорода воздуха кислоты, входящие в состав жиров, могут частично окисляться и образовывать перекиси. Это явление наблюдается при порче жиров, а также при их высыхании. Следовательно, **перекисное число** служит показателем окислительных изменений жиров. Как правило, перекисное число выражается в граммах иода, которое может прореагировать с перекисями, содержащимися в 100 г жира. Определение перекисного числа основано на том, что перекиси жирных кислот в жирной среде способны реагировать с иодистым калием, выделяя из него иод. Выделяющийся иод оттитровывают раствором гипосульфита:



По количеству гипосульфита, затраченному на связывание выделившегося иода, вычисляют перекисное число.

3.5.4. Содержание липидов в растениях в зависимости от их обеспеченности элементами питания

Липиды являются важной составной частью семян и плодов. Их содержание определяется особенностями метаболизма растительного организма, который формируется в процессе эволюции и закреплен генетически. Однако реализация потенциальных возможностей, заложенных в генотипе, зависит от условий выращивания растений, т. е. от действия факторов внешней среды, обеспечивающих рост и развитие организма в соответствии с его генетической программой. К факторам внешней среды относятся свет, температура, обеспеченность водой и питательными веществами. Последний легко регулируется внесением удобрений. С помощью удобрений можно изменить направленность процессов обмена веществ в сторону увеличения содержания в урожае веществ, определяющих его питательную ценность, в данном случае липидов.

3.5.4.1. Зерновые культуры

Липиды, которые синтезируются непосредственно в созревающих зерновках или поступают из вегетативных органов, являются важным качественным компонентом урожая зерновых культур. На первых этапах формирования зерновок образуются, как правило, структурные липиды, т. е. гликолипиды, стеролы, фосфоглицериды, а позднее происходит накопление их запасных форм – жиров, свободных фосфатидных кислот, фитина, фосфатидилхолинов, фосфатидилэтаноламинов. Преобладающая часть запасных липидов зерновки накапливается в зародыше и алейроновом слое, а содержание их в эндосперме значительно меньше. Общее содержание структурных липидов в зерновках пшеницы, риса, ячменя составляет 0,5–0,9 %, запасных – 1,5–3,0 %, а в зерновках овса, кукурузы, проса и сорго суммарное содержание структурных и запасных липидов доходит до 4–6 %.

Важнейшими компонентами липидов зерновых культур являются линолевая и другие ненасыщенные жирные кислоты, относящиеся к незаменимым, которые не могут синтезироваться в организме человека и животных. Правильное применение удобрений способствует увеличению в урожае как структурных, так и запасных липидов. Наибольшее влияние на их количество оказывают азотные удобрения. Положительное влияние на содержание липидов в зерновках злаковых культур оказывают также фосфорные, калийные и микроудобрения. Однако применение удобрений без учета биологических особенностей растений, свойств почв, почвенно-климатических условий, свойств самих удобрений не дает должного эффекта, а иногда приводит к снижению содержания липидов в урожае. Увеличение количества запасных липидов способствует улучшению хлебопекарных качеств зерна. Фитин, содержащийся в зерне, кроме того, представляет собой важный источник органического фосфора.

3.5.4.2. Зернобобовые культуры

Липиды большинства зернобобовых культур представлены жирами и фосфоглицеридами, которые локализованы, как правило, в зародыше. В семядолях, в отличие от семян, синтезируются структурные липиды. Содержание липидов в семенах большинства зернобобовых культур составляет 2–3 %; у люпина, нута и сои их количество может быть значительно большим и доходить соответственно 6–7 %, 3–21 % и 18–27 %. У сои поступающие из вегетативных органов транспортные формы углеводов используются не на синтез крахмала, а на образование ацилглицеринов. Жиры семян бобовых, за исключением сои,

относятся к группе невысыхающих или плохо высыхающих масел, так как в их состав входит значительное количество насыщенных жирных кислот с низкими иодными числами. Содержание липидов в семенах зернобобовых культур может быть в значительной степени повышено при правильном применении удобрений. В этом плане наиболее заметно положительное влияние фосфорных, калийных и микроудобрений. Азотные удобрения, как правило, повышают содержание белка, но снижают количество липидов в семенах.

3.5.4.3. Масличные культуры

Масличные культуры возделывают с целью получения растительных жиров, т. е. масел, которые синтезируются и накапливаются как запасные вещества в семенах. Содержание жиров в семенах льна, конопли, горчицы, подсолнечника составляет 30–50%, мака, клещевины – 50–60%, хлопчатника – 17–25 %. Жиры откладываются в ядрах семян, образуя упорядоченные внутриклеточные структуры – сферосомы. Кроме жиров в сферосомах содержатся фосфолипиды, фитин и гидролитические ферменты, функциональная активность которых проявляется во время прорастания семян. Образование структурных компонентов жира, т. е. глицерина, насыщенных и ненасыщенных (с одной двойной связью) жирных кислот – происходит в цитоплазме, а ненасыщенных жирных кислот с двумя и тремя двойными связями и ацилглицеринов – в эндоплазматическом ретикулуме. Жиры синтезируются из углеводов, поступающих в семена из вегетативных органов растения.

Применение удобрений является одним из действенных рычагов повышения содержания масла в семенах масличных культур. При их внесении увеличивается не только содержание жира в семенах, но улучшается и качественный его состав. При сбалансированном питании растений снижается содержание в жире насыщенных жирных кислот и кислот с одной двойной связью и одновременно возрастает содержание в нем полиненасыщенных жирных кислот – линолевой и линоленовой. Наибольшее влияние на количество и качество жира оказывают фосфорные и калийные удобрения. При их внесении в оптимальных нормах, обеспечивающих потребности растений в фосфоре и калии в репродуктивный период развития, масличность семян возрастает на 2–3 %. Одновременно, в масле возрастает количество полиненасыщенных жирных кислот, в результате улучшается питательная и техническая ценность масла. Азотные удобрения на содержание жира в семенах положительно сказываются при их внесении в вегетативный период роста и развития растений. При недостатке азота в этот период ослабляется рост растений, уменьшается площадь ассимиляционной поверхности листьев, снижается урожай семян и содержание в них жира.

3.5.4.4. Корнеплоды

В сахарной, кормовой и столовой свекле жиров содержится всего лишь около 0,1 %, а в моркови – 0,2–0,3 % сырой массы. Больше жиров накапливается в периферических частях корнеплодов. Жиры, выделенные из корнеплодов, характеризуются большим количеством насыщенных жирных кислот и имеют сравнительно низкие иодные числа.

Корнеплоды относятся к группе культур, требующих большого количества питательных веществ, поэтому внесение удобрений, особенно на бедных почвах, сильно влияет не только на урожай, но и на содержание углеводов, витаминов, азотистых веществ и жиров. Однако избыточные нормы минеральных удобрений, особенно азотных, могут привести к увеличению содержания в корнеплодах азотистых веществ, жиров и потере сахара при их переработке.

3.5.4.5. Кормовые травы

Липидный комплекс кормовых трав представлен структурными и запасными формами, первые из которых связаны с клеточными структурами, а вторые локализованы в сферосомах, образуя резервный и запасной фонды липидов в клетках.

Большая часть липидов находится в листьях и соцветиях, меньшая – в корнях и стеблях растений. Преобладающая часть липидов кормовых трав (75–80 % общего количества жирных кислот) представлена полиненасыщенными жирными кислотами – линолевой и линоленовой. Поэтому липиды кормовых трав обладают высокой питательной ценностью и представляют собой важный источник незаменимых жирных кислот для сельскохозяйственных животных. Правильное применение удобрений под кормовые травы не только повышает содержание в биомассе растений белкового азота, углеводов, витаминов, но и липидов.

3.5.4.6. Клубнеплоды

Липидов в картофеле содержится 0,1–0,15 % сырой массы. В составе липидов клубней картофеля обнаружены пальмитиновая, олеиновая, линолевая и линоленовая кислоты. Две последние кислоты имеют важное значение для животных, так как не синтезируются в их организмах и должны доставляться с кормом. Липиды в клубнях картофеля распределены неравномерно: больше их в перидерме и меньше в сердцевине. Картофель предъявляет повышенные требования к режиму питания. Для получения высоких урожаев с заданным химическим составом клубней требуется обеспечение растений всеми элементами с учетом их биологических особенностей. Это способствует повышению не только крахмала в клубнях, но и увеличению количества других важнейших компонентов, определяющих хозяйственную ценность картофеля, в т. ч. и липидов.

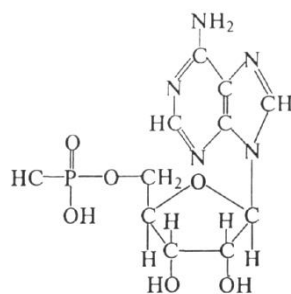
3.6. Нуклеиновые кислоты

Основные функции нуклеиновых кислот в организме — это участие в синтезе белка и в молекулярной организации живой субстанции, т. е. протоплазмы. Эти функции общебиологические и проявляются повсеместно. Через них нуклеиновые кислоты связаны со всеми важнейшими жизненными процессами в организме, как, например, деление клеток, новообразование органов в онтогенезе, воспроизведение свойств организма в потомстве.

В.Г. Конарев, 1964

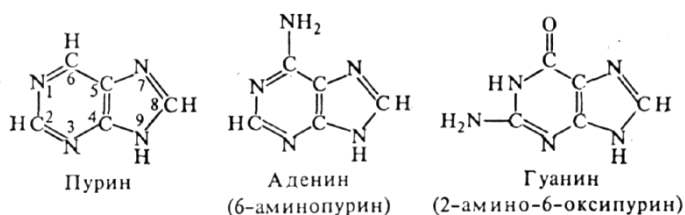
Нуклеиновые кислоты – это высокомолекулярные полимеры нуклеотидов. Каждый **нуклеотид** состоит из пуринового или пиримидинового азотистого гетероциклического основания, сахара пентозы (рибозы $C_5H_{10}O_5$ или дезоксирибозы $C_5H_{10}O_4$) и остатка фосфорной кислоты. Таким образом, нуклеотид представляет собой фосфорный эфир **нуклеозида**, который является гликозидом пуринового или пиримидинового основания.

Значение нуклеотидов состоит не только в том, что из них построены молекулы нуклеиновых кислот, но и в том, что они входят в состав ряда важнейших ферментов, а некоторые являются веществами, в которых аккумулируется энергия, необходимая для процессов жизнедеятельности. Присоединение одной молекулы фосфорной кислоты к молекуле аденозина (аденин связанный с рибофуранозой) у пятого углеродного атома рибозы приводит к образованию нуклеотида, называемого аденозин-5-монофосфатом или адениловой кислотой:



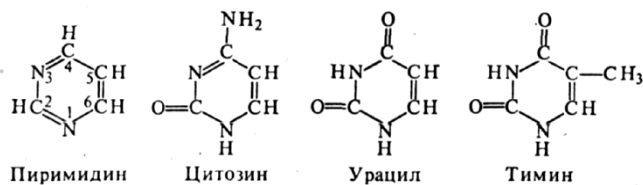
Аналогично аденозину и адениловой кислоте построены другие нуклеозиды и нуклеотиды, образующиеся при гидролизе нуклеиновых кислот. Адениловая кислота может присоединять к своему фосфатному остатку еще один или два остатка фосфорной кислоты с образованием при этом аденозиндифосфата (АДФ) или аденозинтрифосфата (АТФ). Такие соединения чрезвычайно важны в обмене веществ. В них аккумулируется энергия, освобождающаяся при различных реакциях, происходящих в процессе дыхания, брожения и фотосинтеза.

Пуриновые основания являются производными пурина. Среди них особенное значение имеют *аденин* (6-аминопурин) и *гуанин* (2-амино-6-оксипурин).



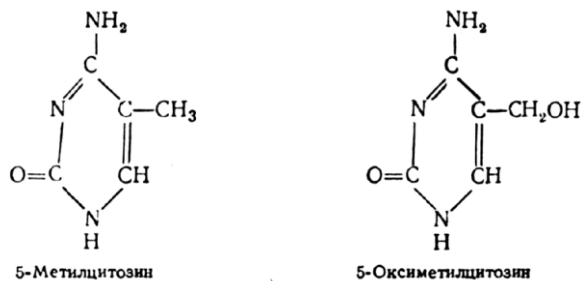
В биосинтезе пуриновых нуклеотидов исходным веществом является рибозо-5-фосфат. К этому соединению постепенно пристраиваются группы атомов, необходимые для построения гетероциклического скелета пуринового основания. Промежуточным пунктом в синтезе пуриновых оснований служит инозитовая кислота.

Пиримидиновые основания, содержащиеся в нуклеиновых кислотах, – *цитозин*, *урацил* и *тимин* – производные пиримидина:

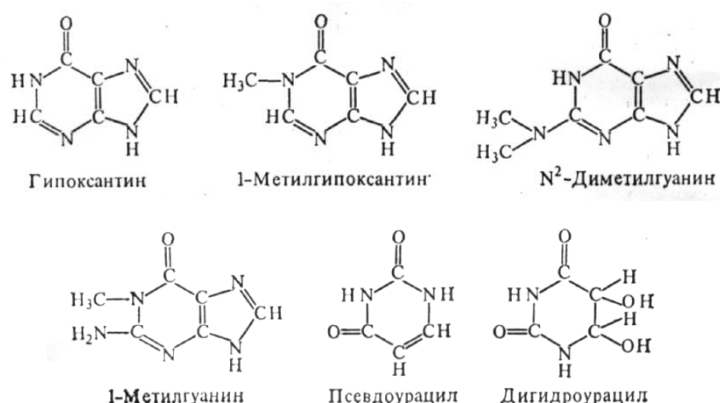


Биосинтез пиримидиновых нуклеотидов начинается с элементарных соединений – аммиака и диоксида углерода. Присоединение же рибозофосфата происходит на заключительном этапе синтеза. Промежуточный продукт – оротовая кислота. При их синтезе из свободных оснований сначала формируются молекулы нуклеозидов, фосфорилированием которых получают нуклеотиды.

В составе нуклеиновых кислот обнаружены также *5-метилцитозин* и *5-оксиметилцитозин*:



В некоторых сравнительно низкомолекулярных нуклеиновых кислотах (транспортных) в небольшом количестве содержатся так называемые минорные основания – гипоксантин, 1-метилгипоксантин, N²-диметилгуанин, 1-метилгуанин, псевдоурацил, дигидроурацил:



Соседние нуклеотиды связаны друг с другом посредством фосфодиэфирной связи между пентозой одного и фосфатной группой другого нуклеотида. Азотистые основания не участвуют в образовании никаких других ковалентных связей, кроме тех, которые связывают их с остатками моносахаридов сахарофосфатной цепи.

Названия нуклеотидов происходят от названия соответствующих азотистых оснований; и те и другие обозначаются заглавными буквами: аденин–аденилат (А), гуанин–гуанилат (Г), цитозин–цитидилат (Ц), тамин–тамидилат (Т), урацил–уридилат (У).

Нуклеиновые кислоты обладают сильно выраженными кислотными свойствами и при физиологических значениях рН (6,5–7,5) несут высокий отрицательный заряд. В связи с этим в клетках организмов они легко взаимодействуют с различными катионами и прежде всего с основными белками, образуя нуклеопротеиды.

В организмах содержится два основных типа нуклеиновых кислот: *рибонуклеиновая кислота* (РНК) и *дезоксирибонуклеиновая кислота* (ДНК). Как следует из названия этих кислот, в качестве углеводного компонента в состав рибонуклеиновых кислот входит рибоза, а в состав дезоксирибонуклеиновой кислоты – дезоксирибоза. "Дезокси" означает "минус один кислород", и только в этом заключается различие между двумя пентозами.

Само название нуклеиновые кислоты (от лат. *nucleus* – ядро) показывает, что открыты они были как составная часть клеточного ядра, в котором действительно присутствуют оба класса нуклеиновых кислот – ДНК и РНК. Основным местом локализации ДНК являются структуры клеточного ядра – хромосомы, в которых ДНК находится в виде комплексов с белками – дезоксирибонуклеотидов. ДНК (≈ 1% от общего количества) также обнаружена в митохондриях всех типов эукариотических клеток и в хлоропластах растительных клеток. В структуре ядерной ДНК заложена информация о видовых специфических признаках, которые определяют характер данной клетки и всего организма и передаются по наследству. В цитоплазме клеток имеются значительные количества РНК, участвующие в реализации генетической информации.

В растительной клетке, как и в животной, ДНК сосредоточена в ядре, а преобладающая часть РНК – в цитоплазме. В структурах цитоплазмы – рибосомах, митохондриях и мембранах – находится высокополимерная или структурная РНК, в гомогенной части – низкополимерная, растворимая РНК. В ядре РНК содержится в ядрышке. Значительная ее часть находится также в хроматине.

В клетке существует несколько видов РНК, которые различаются по величине молекул, структуре, расположению в клетке и функциям:

1. **Информационная (матричная) РНК (иРНК).** Этот вид наиболее разнороден по размерам и структуре. иРНК представляет собой незамкнутую полинуклеотидную цепь. Она синтезируется в ядре при участии фермента РНК-полимеразы, комплементарна участку ДНК, на котором происходит ее синтез. Несмотря на относительно низкое содержание (3–5% РНК клетки), она выполняет важнейшую функцию в клетке: служит в качестве матрицы для синтеза белков, передавая информацию об их структуре с молекул ДНК. Каждый белок клетки кодируется специфической иРНК, поэтому число их типов в клетке соответствует числу видов белков.

2. **Рибосомная РНК (рРНК).** Это одноцепочечные нуклеиновые кислоты, образующие в комплексе с белками рибосомы – органеллы, на которых происходит синтез белка. Рибосомные РНК синтезируются в ядре. Информация об их структуре закодирована в участках ДНК, которые расположены в области вторичной перетяжки хромосом. Рибосомные РНК составля-

ют 80% всей РНК клетки, поскольку в клетке имеется огромное количество рибосом. Рибосомные РНК обладают сложной вторичной и третичной структурой, образуя петли на комплементарных участках, что приводит к самоорганизации этих молекул в сложное по форме тело. В состав рибосом входит три типа рРНК у прокариот и четыре типа рРНК у эукариот.

3. **Транспортная (трансферная) РНК (тРНК).** Молекула тРНК состоит в среднем из 80 нуклеотидов. Содержание тРНК в клетке – около 15% всей РНК. Функция тРНК – перенос аминокислот к месту синтеза белка.

ДНК через РНК "диктует" белкам их структуру, а, значит, и руководит всей деятельностью клетки. В таблице 22 приведены некоторые данные о нуклеотидном составе ДНК, выделенной из разных растений (Белозерский А.Н., 1976).

Таблица 22 – Нуклеотидный состав ДНК растений, % к сумме оснований

Источник ДНК	Гуанилат	Цитидилат	5-метилцитидилат	Аденилат	Тимидилат	А+Т/Г+Ц
Зерно пшеницы	22,7	16,8	6,0	27,3	27,1	1,19
Семена лука	18,4	18,2	–	31,8	31,3	1,71
Корни гороха	21,0	14,0	5,0	32,0	28,0	1,50
Листья моркови	23,2	17,3	6,0	26,7	26,8	1,15
Семена фасоли	20,6	14,9	5,2	29,7	29,6	1,45
Зародыш зерновки кукурузы	22,8	17,0	6,2	26,8	27,2	1,16
Семена сосны	20,8	14,6	4,9	29,2	30,5	1,48

У растений преобладают ДНК, относящиеся к типу АТ, то есть с преобладанием А+Т над Г+Ц. Нуклеотидный состав ДНК из разных органов того же растения одинаков, так как все клетки тела несут одинаковую генетическую информацию, закодированную в ДНК. Данные А.Н. Белозерского (1976) о составе нуклеотидов РНК, выделенной из растений, приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Нуклеотидный состав РНК растений, % к общему количеству нуклеотидов

Источник РНК	Гуанилат	Аденилат	Цитидилат	Уридилат
Семена сосны	31,3	25,1	24,3	19,3
Семена фасоли	31,4	24,9	24,1	19,6
Семена лука	29,8	24,9	24,7	20,6
Корни гороха	28,0	25,0	23,0	24,0
Листья табака	26,1	23,5	24,7	25,0
Листья кукурузы	27,9	22,8	26,0	24,4

Нуклеиновые кислоты, подобно белкам, имеют первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры. **Первичная структура** нуклеиновых кислот – это последовательность расположения нуклеозидфосфатов в линейной цепи. **Вторичная структура** – это расположение полинуклеотидных цепей ДНК или РНК в пространстве. Вторичная структура нуклеиновых кислот создается за счет взаимодействия соседних мономерных звеньев полинуклеотидной цепи, а в случае двуспиральных молекул или участков молекул также взаимодействием нуклеотидных остатков, находящихся напротив друг друга в двойной спирали.

Американский биохимик Эрвин Чаргафф сформулировал правила (**правила Чаргаффа**), которым подчиняется строение нуклеиновых кислот.

1) в молекуле ДНК молярная сумма А и Г (**пуриновых оснований**) равна молярной сумме Ц и Т (**пиримидиновых оснований**): $A+G = C+T$;

2) в молекулах ДНК число остатков А всегда равно числу остатков Т, в таком же соотношении находятся Г и Ц: $A=T, G=C$.

3) отношение молярных сумм $(G+C)/(A+T)$ в молекуле ДНК, а также $(G+C)/(A+U)$ в молекуле РНК специфично для разных организмов и поэтому может служить их важной молекулярно-биологической характеристикой. Такое соотношение получило название **коэффициента специфичности нуклеиновых кислот**. Этот показатель ученые-генетики используют для установления степени сходства и различий между организмами.

Как оказалось, у одних организмов в ДНК преобладают (А+Т) нуклеотиды. Такая ДНК характерна для человека, высших животных и растений, для большинства грибов. Поэтому ДНК таких организмов называют **ДНК АТ-типа**.

В ДНК многих микроорганизмов (одноклеточных животных, дрожжевых грибов, большинства бактерий и вирусов) преобладают (Г+Ц) нуклеотиды, то есть им свойственна *ДНК ГЦ-типа*.

ДНК многих объектов представляет собой не простую вытянутую спираль, а обладает специфической *третичной структурой*. Двухцепочная спираль ДНК на отдельных участках может подвергаться дальнейшей укладке в суперспираль, молекула может также приобретать кольцевую форму (например, в хлоропластах листьев) или свертываться в клубок.

Третичная структура тРНК представляет собой глобулу, вытянутую в форме буквы "Г". В ее основе вторичная структура «клеверный лист» свернута так, что возникают связи между азотистыми основаниями, а также между атомами азота, amino- и оксигруппами оснований, с одной стороны, и фосфатными группами, гидроксильными группами пептоз, с другой. Наконец, возникают гидрофобные взаимодействия между стопками оснований, составляющие две части буквы "Г".

Таким образом, третичная структура нуклеиновых кислот организуется за счет взаимодействия нуклеиновых остатков, принадлежащих различным элементам их вторичной структуры.

Четвертичная структура известна лишь для РНК. Она представляет собой блок из двух одинаковых субъединиц, связь между которыми поддерживается комплементарными взаимодействиями их азотистых оснований.

Нуклеиновые кислоты высших растений несколько отличаются от нуклеиновых кислот животных и микроорганизмов по составу нуклеотидов. В частности, для ДНК высших растений характерен сравнительно высокий процент 5-метилцитозина. Рибосомальная РНК растений относится к ГЦ-типу. Величина отношения (Г+Ц) : (А+У) по видам растений изменяется в пределах 1,03–1,36. В РНК животных это отношение изменяется от 0,7 до 1,6. РНК растений несколько отличается от РНК животных составом дополнительных нуклеотидов воднорастворимой РНК. Содержание нуклеиновых кислот в растениях не превышает 10% от количества белка. Однако нуклеиновым кислотам принадлежит решающая роль во внутриклеточном обмене. Убедительным доказательством этого являются повсеместность распространения нуклеиновых кислот в органическом мире, сосредоточение их в наиболее ответственных структурах клетки и в местах интенсивного роста и новообразования.

В оценке места и роли нуклеиновых кислот в жизненных явлениях особенно большое значение имеет наличие постоянного взаимодействия нуклеиновых кислот с наиболее активной частью белков – с конституционными белками цитоплазмы и ядра животной и растительной клетки. Белок – основа жизни, и отношение к нему, характер взаимодействия с ним является лучшим показателем значимости того или иного компонента клеточной структуры в жизненных процессах. Между нуклеиновыми кислотами и белками в организме известны следующие генетические и функциональные связи:

а) продукты белкового обмена – аминокислоты и их производные – являются исходным материалом в синтезе азотистых оснований нуклеиновых кислот;

б) нуклеиновые кислоты участвуют в синтезе молекулы белка;

в) нуклеиновые кислоты оказывают многостороннее влияние на структуру и физико-химические свойства белковой молекулы;

г) нуклеиновые кислоты и белки, взаимодействуя между собой, образуют нуклеопротеиды, которые составляют основу организации живой субстанции.

Взаимоотношения между белком и нуклеиновыми кислотами в организме чрезвычайно сложны и многообразны. В процессе взаимодействия между белком и нуклеиновой кислотой создается качественно новое состояние вещества, одним из замечательных свойств которого является способность к саморепродукции, что, как известно, лежит в основе таких жизненных явлений как рост, размножение, воспроизведение свойств организма.

Содержание нуклеиновых кислот и нуклеиновый обмен в растениях в значительной степени определяются их обеспеченностью элементами питания. Азот, фосфор, сера непосредственно входят в состав нуклеотидов. Магний, калий, кальций, железо и микроэлементы, являясь кофакторами ферментов, принимают участие в ферментативных реакциях, связанных с синтезом и распадом нуклеиновых кислот, пиримидиновых и пуриновых оснований. Например, магний участвует в активировании ферментов, в частности, в ферментных реакциях, где вовлекаются пирофосфатные группировки; оказывает активизирующее воздействие на некоторые специфические фосфатазы нуклеотидов (нуклеотидазы). Известно также, что синтез ДНК из нуклеозидтрифосфатов идет в присутствии специфического фермента ДНК-полимеразы и требует присутствия магния. Обнаружено, что для включения рибонуклео-

тидов в РНК и для действия ДНК-затравки также необходим магний. Магнием активируется и синтез РНК-полимеразы и полинуклеотидфосфорилазы. С улучшением условий питания железом усиливается трата РНК при синтезе белка и вследствие этого происходит уменьшение содержания РНК в клетке. Марганец активирует фосфодиэстеразы, нуклеотидазы, нуклеозидкиназы и другие ферменты, участвующие в обмене нуклеиновых кислот. Ионы бария, кальция и цинка повышают активность рибонуклеазы; медь и кобальт – дезоксирибонуклеазы; молибден – ксантиноксидазы.

Значение микроэлементов в нуклеиновом обмене не ограничивается, однако, их участием в ферментативных реакциях. Они играют, кроме того, важную роль в нуклеиновом обмене благодаря их способности образовывать комплексные соединения с нуклеиновыми кислотами и их предшественниками. Тем самым микроэлементы принимают участие в сохранении конфигурации молекулы РНК и в связывании пуриновых и пиримидиновых оснований при помощи ковалентных связей.

Известно, что бор, в отличие от всех необходимых микроэлементов, не является кофактором или активатором каких-либо ферментов, в том числе и ферментов нуклеинового обмена. Однако, благодаря особому строению электронных оболочек атома, бор может вступать в соединения с атомами почти всех химических элементов, вследствие чего он участвует в образовании и поддержании структуры межмолекулярных и надмолекулярных комплексов биополимеров, прежде всего белков, полисахаридов, липидов и нуклеиновых кислот.

Таким образом, оптимизация минерального питания растений путем внесения удобрений – один из действенных факторов регулирования нуклеинового обмена и биосинтеза нуклеиновых кислот. Соответствующий подбор норм и видов удобрений с учетом химического состава почвы и биологических особенностей культуры приводит к значительному улучшению нуклеинового обмена и более полной реализации потенциальной продуктивности растений.

3.7. Витамины

С участием витаминов В₁, В₂, РР происходит расщепление углеводов и освобождение заключенной в них энергии; витамины регулируют синтез аминокислот и обмен белка (витамины В₆, В₁₂), расщепление и образование жирных кислот и жиров (В₃), синтез пуриновых и пиримидиновых оснований и обмен нуклеиновых кислот (В₉, В₁₂), образование физиологически важных соединений – ацетилхолина, глутатиона, стероидных гормонов. Жирорастворимые витамины участвуют в образовании структур организма (витамин D), развитии покровных тканей (витамин А), эмбрионов (витамины А, Е). Являясь необходимыми участниками обменных реакций, витамины оказывают воздействие на рост и развитие организма.

В. Букин, 1969

Витамины (от латинского *vita* – "жизнь" и химического обозначения одного из соединений азота – "амин") – низкомолекулярные органические соединения различной химической природы, выполняющие важнейшие биохимические и физиологические функции в живых организмах. В настоящее время известно в общей сложности около 30 витаминов, 20 из которых поступают в организм человека вместе с растительной или животной пищей.

При отсутствии или недостаточном их количестве в пище у человека и животных ослабляются биохимические процессы, нарушается обмен веществ, что приводит к тяжелым заболеваниям, а иногда и гибели организмов. Заболевания, связанные с длительным недостатком в организме витаминов называется *гипоавитаминозом*, а отсутствием или резко выраженным глубоким дефицитом – *авитаминозом*. При сильном избытке витаминов в пище также могут наблюдаться нарушения в процессах обмена веществ, в результате которых возникают заболевания – *гипервитаминозы*. Это особенно характерно для жирорастворимых витаминов.

Основная причина нехватки витаминов в организме человека – недостаточное их поступление с пищей (первичные, экзогенные авитаминозы), однако в отдельных случаях наблюдается эндогенные или вторичные авитаминозы, связанные с нарушением процессов усвоения витаминов в организме. Наиболее важными причинами гипо- и авитаминоза являются следующие:

- недостаточное поступление витаминов с пищей, связанное с их низким содержанием в рационе, снижением общего количества потребляемой пищи, потерями витаминов в ходе технологического процесса;
- угнетение кишечной микрофлоры, продуцирующей некоторые витамины;
- нарушение ассимиляции витаминов;
- повышенная потребность в витаминах, связанная с особенностями физиологического состояния организма или интенсивной физической нагрузкой, особыми климатическими условиями;
- врожденные генетически обусловленные нарушения обмена и функций витаминов.

Для нормального течения биохимических процессов растительные организмы в основном нуждаются в тех же витаминах, что и животные, но в отличие от животных они сами могут синтезировать практически все необходимые им витамины. Действие витаминов основано на том, что, поступая в организм, они превращаются в свои активные формы, которые, как правило, являются коферментами или простетическими группами, входящими в состав важнейших ферментов и ферментных систем. Из 800 известных к настоящему времени ферментов около 200 имеют в своем составе витамины или действуют при их посредстве. Поэтому при отсутствии или недостатке витаминов нарушается нормальное развитие организма и жизненно важные процессы либо приостанавливаются, либо не протекают совсем. Витамины в составе ферментов регулируют обмен веществ живых организмов.

В зависимости от растворимости витамины делятся на *жирорастворимые* и *водорастворимые*. В основу названий витаминов положена их химическая структура, однако для некоторых сохраняют и буквенные обозначения.

Жирорастворимые витамины

- Ретинол (группа А)
- Кальциферол (группа D)
- Токоферол (группа Е)
- Филлохинон (группа К)
- Комплекс ненасыщенных жирных кислот (группа F)

Водорастворимые витамины

- Тиамин (В₁)
- Рибофлавин (В₂)
- Пиридоксин (В₆)

Цианокобаламин (В₁₂)
Пангамовая кислота (В₁₅)
Никотиновая кислота (РР)
Аскорбиновая кислота (С)
Цитрин (Р)
Пантотеновая кислота (пантотен, В₃)
Инозит
Биотин (Н)
Парааминобензойная кислота
Фолиевая кислота (В₉)
S-метилметионин (U)

Все витамины обладают значительной термостабильностью, за исключением аскорбиновой кислоты, которая при нагревании в присутствии кислорода разрушается. По своей химической природе витамины принадлежат к самым разным классам органических соединений. Так витамин А относится к каротиноидам, D – стероидам, С – углеводам, К – ароматическим веществам, витамины группы В (В₁, В₂, В₆, В₁₂) – гетероциклам, к ним же относятся витамин Е, биотин, никотиновая и фолиевая кислоты. К алифатическим соединениям причисляют пантотеновую кислоту. Так как каждый из витаминов играет отличную от других роль в живом организме, мы ниже приводим краткую характеристику каждого из них.

Витамин А. Встречается в качестве четырех индивидуальных предстателей: ретинол, ретилацетат, ретиналь, ретиноевая кислота. Он имеет два витамина А₁ и А₂ (у А₂ — дополнительная двойная связь в β-ионовом кольце). Витамин А₁, как и А₂, являются 20-углеродными полипрениловыми спиртами. В растениях витамин А, как таковой, не встречается. Однако этот витамин образуется из каротиноидов, широко распространенных в растениях. Известны три типа каротиноидов: α-, β- и γ-каротины, различающиеся по химическому строению и биологической активности. Наибольшей биологической активностью обладает β-каротин, содержащий в своем составе два β-ионовых кольца, и при гидролитическом распаде под действием фермента каротин-диоксигеназы образующий две молекулы ретинола. Благодаря наличию в молекуле двойных связей витамин А участвует в окислительно-восстановительных реакциях, образуя при этом перекиси, которые, в свою очередь, повышают скорость окисления других соединений.

В растениях каротиноиды являются обязательным компонентом пигментного светопоглощающего комплекса. Они участвуют в процессах первичного поглощения и межпигментном переносе электромагнитной энергии, тем самым регулируя энергонасыщение хлорофилла. Кроме того, каротиноиды в растениях выполняют функции светофильтров, защищая молекулы хлорофиллов от необратимого фотоокисления и участвуют в окислительно-восстановительных реакциях фотосинтеза.

При недостатке витамина А в пище у человека и животных развивается А-авитаминоз, наиболее характерными признаками которого являются расстройство ночного зрения, — так называемая "*куриная слепота*"; появляется сухость глазных яблок, мелкая сыпь на коже, потеря блеска волос и их выпадение. Гиповитаминоз А опасен для людей некоторых профессий, связанных с работой в ночное время, таких как водители такси, трамваев, троллейбусов, автобусов, машинисты электровозов. В свою очередь, избыточное насыщение организма ретинолом приводит к понижению аппетита, повышению возбудимости и увеличению печени. Появляется слабость, снижается работоспособность, падает сопротивляемость простуде и инфекционным заболеваниям.

Содержание витамина А в продуктах питания выражается в так называемых международных единицах (ИЕ). Одна такая единица витамина А представляет собой 0,6 микрограмма (один микрограмм (мкг) равен 0,001 мг) чистого β-каротина (провитамина А). 1 г чистого каротина содержит 1 670 000, а 1 г чистого витамина А₁ — 3 300 000 ИЕ. Ниже приведено содержание витамина А (каротина) в продуктах питания (табл. 24; Кретович В.Л., 1986).

* Ионы — ненасыщенные кетоны циклогексенового ряда.

Таблица 24 – Содержание витамина А в продуктах питания, мкг/г

Продукт	Содержание
Растительные масла	0
Картофель	0
Пшеница, пшеничная мука, хлеб	0–0,2
Мясо и птица	0,04
Рыба	следы
Молоко летнее	1
Масло сливочное	12
Абрикосы	20
Томаты	20
Салат и шпинат	25–50
Морковь красная	90
Листья люцерны	100
Жир из печени трески	300
Жир из печени акулы	750
Жир из печени морского окуня	900
Жир из печени кашалота	60000

Наиболее важными источниками витамина А в пище человека являются салат, шпинат, зеленый лук, морковь, томаты, а также сливочное масло и яичный желток. Необходимо отметить, что зимой молоко, сливочное масло и яйца во много раз беднее витамином А, чем те же продукты летом. Это объясняется высоким содержанием каротина в зеленых кормах. Отсутствует витамин в свином сале, растительных маслах и говяжьем жире. Очень важную роль в обеспечении потребностей человека в витамине А играет провитамин А – каротин (от лат. *carota* – морковь). Действительно, в моркови каротина содержится много, как и в других овощах и фруктах красного и оранжевого цвета – томатах, красном сладком перце, абрикосах и кураге, ягодах облепихи. Есть каротин и в зеленом салате, капусте, зеленом горошке, зелени петрушки, зеленом луке. Желтый пигмент – каротин, содержащийся во многих овощах и фруктах и обладающий высокой витаминной активностью, в организме человека превращается в витамин А. Именно β -каротин (витамин А), взаимодействуя с различными опсинами*, участвует в формировании зрительных пигментов, необходимых для нормального сумеречного и цветового зрения; обеспечивает целостность эпителиальных тканей, регулирует формирование костей. Суточная потребность в витамине А взрослого человека – 1,0 мг, беременных женщин – 1,25 мг, а кормящих матерей – до 1,5 мг.

К витаминам группы В относятся витамин В₁ (тиамин), В₂ (рибофлавин), витамин РР (никотиновая кислота), В₆ (пиридоксин), В₉ (фолиевая кислота), витамин В₁₂ (цианокобаламин).

Витамин В₁ (тиамин, аневрин) – группа водорастворимых соединений, производных пиримидина и тиазола. Свое название получил из-за содержания в молекуле серы. Физиологическая роль витамина В₁ в растении очень велика. Он участвует в углеводном обмене и входит в состав кофермента карбоксилазы, энзима спиртового брожения, являющегося сложным эфиром тиамин и пиродифосфорной кислоты. Витамин В₁ в форме тиаминпиродифосфата является коферментом — простетической группой фермента пируватдекарбоксилазы, который катализирует декарбоксилирование пировиноградной кислоты $\text{CH}_3\text{—COCOON}$. Пировиноградная кислота, образующаяся на первом этапе процесса дыхания — при гликолизе, является ключевым веществом диссимиляции углеводов. Витамин В₁ также входит в состав ферментного комплекса, катализирующего окислительное декарбоксилирование кетокислот в реакциях цикла Кребса, например α -кетоглutarовой.

Витамин В₁ участвует в белковом и жировом обмене, является стимулятором нервной и мышечной деятельности, оказывает благоприятное влияние на функции органов пищеварения. Симптомы гиповитаминоза В₁ – мышечная слабость, боли в ногах, ослабление внимания, повышенная раздражительность. При резко выраженной недостаточности витамина В₁ возможно множественное воспаление нервных стволов – полиневрит. Полиневрит, возникающий при длительном однообразном питании зерновыми, освобожденными от наружных оболочек, а также полированным рисом, носит название "бери-бери" и в недалеком прошлом был распространен в ряде стран. Потребность в витамине В₁ увеличивается при напряженной физической и нервно-психической деятельности.

* Опсин – белок палочек глазной сетчатки.

Витаминная недостаточность В₁ встречается у людей, страдающих заболеваниями пищеварительного тракта, печени или при затяжных лихорадочных заболеваниях, или у женщин во время беременности и кормления грудью. Суточная потребность взрослого человека в витамине В₁ составляет 1,5 мг, а для беременных и кормящих женщин 1,8–2,3 мг.

Источники витамина В₁: дрожжи, внутренние органы животных (печень, почки, сердце), картофель; перец красный сладкий, горошек зеленый, щавель, лук репчатый, морковь, капуста цветная, помидоры, соя, фасоль, орехи, зерновые и бобовые культуры (табл. 25; Гребинский С.О., 1975).

Таблица 25 – Содержание витаминов в растениях, мкг/100 г

Растения	В ₁	В ₂	В ₃	В ₆	В ₉	С, мг/%	Е	Н	К, мг %	Р, мг %	РР, мг %	Каротин	Инозит, мг %
Капуста	150	70	200	120	100	40	20	2	3	15	0,6	20	95
Салат	100	300		100	150	45	500		0,2		0,2	900	
Шпинат	100	300	170	100	20	50	200	6	4	0,1	0,8	500	2.7
Томаты	100		400	60	70	30		4	1		0,1	700	46
Огурцы	40	50	150			9		2			0,16	200	
Яблоки	50	20	8	26		18		1			0,08	100	24
Груши	70	30				5					0,2		
Сливы	120	20				10					0,8	300	
Абрикосы	60	40				9						6000	
Вишня	50					15						400	
Апельсины	90	40	340	80	80	53		2		30	0,03	100	210
Черная смородина						150						1000	
Виноград	50	20	10	10	20	3						70	12
Пшеница	350	80	1380	430	190		910	5	0,05		6	20	170
Кукуруза	580	100	500	340	20			6	0,05		3,5		45
Горох	520	260	380	300	430		3200	9			2,5		250
Редис	110	30				23					0,3		
Морковь	100	50	350	130	100	5	1200	3	2	75	0,8	12000	48
Картофель	100	50	400	20	80	21		0,6	0,1		1.0		29

Источником витамина В₁ могут служить также хлебобулочные и крупяные изделия в тех случаях, когда зерно в процессе обработки не теряет зародышей и оболочек.

Витамин В₂ (рибофлавин) — служит структурным элементом простетических групп флавинмононуклеотида [ФМН (FMN)] и флавинадениндинуклеотида [ФАД (FAD)]. ФМН и ФАД являются простетическими группами многочисленных оксидоредуктаз (дегидрогеназ), где в виде гидрид-ионов выполняют функцию переносчиков водорода.

Витамин В₂ участвует в углеводном и белковом обмене, а также в фотореакциях сетчатки глаза. Он оказывает значительное влияние на функцию органа зрения: повышает его остроту, способность различать цвета, улучшает ночное зрение.

Название происходит от "рибозы" – углевода, служащего сырьем для промышленного получения этого витамина, и группы желтых красителей – флавинов, к которой он относится по химическому строению. При его недостатке происходит резкое уменьшение веса, растрескивание губ, появление язв в уголках рта и трещин на пальцах, резь в глазах и помутнение роговицы, выпадение волос, замедляется заживление ран.

Источники витамина В₂: гречневая крупа, помидоры, картофель, морковь, цветная капуста, зеленый горошек, фасоль, сладкий перец, щавель, молоко, сыр; много его в яйцах, внутренних органах животных (сердце, печень, почки), пекарских и пивных дрожжах. Суточная потребность взрослого человека в этом витамине 1,5-3,0 мг.

Витамин В₃ (пантотеновая кислота) – водорастворимое соединение группы витаминов В. Пантотеновая кислота входит в состав кофермента А, при участии которого происходят активирование и перенос образующихся в организме остатков уксусной кислоты и других кислотных остатков (ацилов), синтез лимонной кислоты, жирных кислот, стеролов, глицеридов и многих других соединений.

Витамину В₃ принадлежит важная роль в процессах распада жирных кислот, а также в синтезе аминокислот, гормонов, жирных кислот, гемоглобина, гистамина и множества других физиологически активных соединений. При недостатке витамина В₃ у человека и животных происходит нарушение обмена веществ, поражение кожных покровов (дерматиты), потеря волос, потеря пигмента, депигментация волос, поражение слизистых оболочек. Пантотеновая кислота не случайно в буквальном переводе с латыни означает "вездесущая", – она широко распространена в природе и встречается во многих продуктах животного и растительного происхождения (пивные и пекарские дрожжи, печень, почки, мясо, яйца, икра, зерновые культуры, цветная капуста, картофель, помидоры, зеленый горошек, бобы).

Потребность 5–10 мг/сут.

Витамин В₅ (РР) – никотиновая кислота, ниацин. Свое название "РР" получил от первых букв слов Pellagra preventing – предотвращающий пеллагру. Витамин В₅ (РР) представлен двумя веществами: никотиновой кислотой и амидом никотиновой кислоты.

Никотинамид – составная часть многих ферментов, участвующих в биологическом окислении в качестве коферментов: никотинамид–аденин–динуклеотид–фосфата (НАДФ). Они присоединяют протон и два электрона от окисляемого субстрата и передают их другим переносчикам дыхательной цепи или транспортируют от восстановленного кофермента к субстрату. Ткани содержат НАД в 5–10 раз больше, чем НАДФ. НАД входит в состав многих ферментов гликолиза, цикла трикарбоновых кислот, β-окисления жирных кислот. НАДФ – составная часть многих дегидрогеназ. Восстановленные формы НАД и НАДФ фигурируют в клетках в качестве доноров водорода, принимая активное участие в биосинтетических процессах.

Недостаточность витамина В₅ приводит к быстрой утомляемости, слабости, раздражительности, бессоннице, а также к поражению кожных покровов. В частности, при нехватке этого витамина кожа становится шершавой, нарушается пигментный обмен, появляются язвы, наблюдаются изменения слизистых оболочек рта. Витамин В₅ способствует усвоению растительного белка, поэтому он важен для лиц, не употребляющих животные белки. Он участвует в углеводном обмене, способствует деятельности желудочно-кишечного тракта.

Потребность в ниацине покрывается за счет его поступления с пищей и образования из триптофана (из 60 мг триптофана, поступающего с пищей, образуется 1 мг ниацина). Это необходимо учитывать при оценке пищевых продуктов, как источников витамина РР. Например, в районах, в которых важным источником питания являются бедные триптофаном кукуруза и сорго, наблюдается РР-витаминная недостаточность и заболевание пеллагрой.

Витамин В₅ содержится практически в тех же продуктах, что и витамин В₁ и В₂. (мясные и молочные продукты, печень, почки, рыба, пшеничная мука, гречневая и ячневая крупы, отруби хлебных злаков, хлебобулочные и крупяные изделия, бобы, горох, фасоль, соя, чечевица, красный перец, картофель, капуста белокочанная, плоды рябины, яйца). Суточная потребность в витамине 15–20 мг, а при больших физических и чрезмерных нервно-эмоциональных нагрузках должна быть повышена до 20–25 мг.

Витамин В₆ (пиридоксин) – объединяет три вещества: пиридоксин, пиридоксаль и пиридоксамин. Он играет важную роль в обмене веществ. Входя в состав активных групп ферментов в форме фосфорилированного производного пиридоксальфосфата, катализирует ряд важнейших процессов в азотном обмене растений – переаминирование, декарбоксилирование, рацемизация аминокислот. Недостаток в организме витамина В₆ приводит к торможению биосинтеза аминокислот и белков.

Признаками дефицита этого витамина у человека и животных может служить изменение состава крови. Недостаток его вызывает анемию, дерматит и судороги.

Источники: дрожжи, печень, рыба, свежий зеленый перец, картофель, капуста белокочанная, морковь, помидоры, бобы, арахис, горох; большое количество этого витамина обнаружено также в зародышах пшеницы. Пиридоксин имеется также в мясе, рыбе, яйцах, молоке, сыре. Потребность организма в этом витамине составляет 2–3 мг в сутки.

Витамин В₈ (инозит, миоинозит, мезоинозит). Среди изомеров инозита биологической активностью обладает лишь миоинозит. Этот изомер играет важную роль в качестве предшественника урсонных кислот, входящих в состав клеточной стенки растений. Миоинозит, соединяясь с шестью молекулами фосфорной кислоты, образует инозитфосфорную кислоту, которая в виде своей кальций-магниевого соли носит название фитина. Последний чрезвычайно широко распространен в растениях. Инозит принимает участие в образовании инозитфосфатидов, синтезе жиров. Инозитфосфатиды входят в состав клеточных мембран.

Недостаток инозита приводит к ожирению печени, нарушениям функции нервной системы, способствует развитию атеросклероза.

Наиболее богаты инозитом зерно пшеницы, а также апельсины, яблоки, груши, персики, зеленый горошек и сухой горох, зеленые бобы, дыня, цветная и белокочанная капуста, карто-

фель, свекла, лук репчатый и зеленый, помидоры, морковь, клубника. Хотя в овощах, ягодах и плодах этого витамина содержится значительно меньше, чем в зерновых продуктах (пшеничный хлеб, мука и отруби), но в последних он находится в виде труднорастворимого и почти неусвояемого организмом вещества – фитина. Суточная потребность в витамине 0,5–1,5 мг.

Витамин В₉ (В_с), фолиевая, птероилглутаминовая кислота, фолацин – "противоанемический" витамин. Участвует в качестве кофермента в переносе одноуглеродных фрагментов при биосинтезе пуриновых оснований, серина, метионина и других соединений, то есть при биосинтезе тех веществ, где используются одноуглеродные фрагменты: белков, ДНК, РНК.

При недостатке фолиевой кислоты в организме человека и животных наблюдается нарушение образования форменных элементов крови, возникает злокачественная "тропическая" анемия, снижается сопротивляемость организма заболеваниям.

Витамин В₉ содержится главным образом в зеленых листовых овощах (почему и назван от латинского слова *folium* – "лист"). Впервые выделен из листьев шпината; в больших количествах содержится в салате, зелени петрушки, яблоках, помидорах, картофеле, шпинате, бобах, кочанной и цветной капусте, свекле, винограде, лимонах, пшенице и ржи, а также в печени, сердце и дрожжах. Суточная потребность организма в этом витамине составляет 0,2 мг, а при беременности и вскармливании грудного ребенка – в 2 раза больше.

Витамин В₁₂ (кобаламин, цианкобаламин) принадлежит к веществам с высокой биологической активностью. Относится к группе водорастворимых соединений, производных коррина. Это единственный витамин, синтез которого осуществляется в основном микроорганизмами.

Витамин В₁₂ входит в состав ряда ферментативных систем в качестве кофермента (протестической группы). Причем, в построении этих ферментов участвует не свободный витамин В₁₂, а его производные, называемые В₁₂-коферментами: метилкобаламин в цитоплазме клетки и дезоксиаденозилкобаламин в митохондриях. Другая группа реакций, в которых участвует В₁₂-кофермент – дезоксиаденозилкобаламин, заключается в переносе водорода и образовании новой углеродной связи. Его роль заключается в метаболизме метилмалоновой кислоты, образующейся из жирных кислот с нечетным числом атомов углерода и из аминокислот с разветвленной углеродной цепью.

В организме человека витамин В₁₂ участвует в процессах кроветворения, превращения аминокислот, биосинтезе (совместно с фолиевой кислотой) нуклеиновых кислот. При недостатке витамина В₁₂ наступает слабость, падает аппетит, развивается злокачественное малокровие, нарушается деятельность нервной системы.

В питании человека важным источником витамина В₁₂ являются печень (100 мкг на 100 г печени), почки, желтки яиц, рыба и молоко. В организме человека этот витамин накапливается в печени, в которую он поступает с животной пищей или синтезируется микрофлорой кишечника при условии, что кобальт поступает в организм человека с пищей.

Потребность взрослого человека в витамине В₁₂ составляет 2,5–5,0 мкг/сут.

Витамин В₁₃ (оротовая кислота). Принимает участие в белковом обмене, в котором играет роль стимулятора синтеза нуклеотидов, входящих в состав нуклеиновых кислот. Стимулирует рост организма.

Оротовая кислота содержится в дрожжах и печени.

Витамин В₁₅ (пангамовая кислота). Участвует в процессах переметилирования как донор метильных групп, активирует окислительно-восстановительные процессы, способствует накоплению макроэргических соединений, обезвреживанию токсикантов и повышает толерантность к кислородной недостаточности.

Витамин В₁₅ в организме человека предупреждает ожирение печени, стимулирует деятельность гипофиза и надпочечников. Повышает устойчивость организма при заболеваниях сердца и интоксикациях. Суточная потребность в пангамовой кислоте составляет около 2 мг. Содержится во всех продуктах растительного происхождения.

Холин (холинхлорид) $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+(\text{OH})\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{OH}$. Входит в состав фосфолипида фосфатидилхолина. Биологическая роль холина: участие в синтезе фосфатидов и ацетилхолина, а также в реакциях переметилирования в качестве донора метильных групп. Участвует в биосинтезе метионина, адреналина, нуклеиновых кислот.

При авитаминозе наблюдается жировое перерождение печени, кровоизлияния во внутренних органах. Содержится в мясе, твороге, сыре, а также в рисе, овсе, ячмене, кукурузе, зародышах пшеничных зерен, соевых бобах; некоторое количество его обнаружено в шпинате и белокочанной капусте, причем в последней его содержится в 3 раза больше, чем в рыбе и мясе. Суточная потребность в витамине 500–1000 мг.

Витамин С (аскорбиновая кислота) – группа водорастворимых соединений, производных L-гулоновой кислоты. Основная функция аскорбиновой кислоты – донор водорода в окислительно-восстановительных реакциях. Отдавая два атома водорода, превращается в дегидро-

аскорбиновую кислоту. Обратный процесс катализирует дегидроаскорбиноксидаза за счет водорода глутатиона. Аскорбиновая кислота участвует в процессе клеточного дыхания, в аминокислотном и углеводном обмене, в образовании коллоидного межклеточного вещества, в выведении из организма токсичных веществ. Влияет на защитные механизмы организма человека, усиливает сопротивляемость к инфекциям, устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды. В природных условиях встречается в виде аскорбиновой кислоты, дегидроаскорбиновой кислоты и аскорбигена, обладающих витаминной активностью.

Недостаток его в организме приводит к цинге (скорбуту), поражению капилляров, десен зубов, местным кровоизлияниям. Обеднение организма витамином С ведет вначале к снижению сопротивляемости к заболеваниям, повышению утомляемости, усилению сонливости, а также кровоточивости десен, боли в суставах. При полном же авитаминозе развивается цинга, множественные точечные кровоизлияния, малокровие, понижение давления. В свою очередь, избыточные дозы аскорбиновой кислоты приводят к бессоннице, чувству жара, головной боли, поносу, повышению артериального давления, прерыванию беременности.

Основным источником витамина С в пище являются овощи, плоды и ягоды: помидоры, зеленый лук, петрушка, капуста, айва, вишня, смородина черная, лимон, апельсин. Исключительно большое количество витамина С содержится в сладком ("болгарском") перце, еще больше – в плодах шиповника. Но даже шиповник не является абсолютным "рекордсменом" в этом отношении, – в незрелых (зеленых) плодах грецкого ореха витамина С содержится до 3500 мг %, что намного превышает его содержание в шиповнике, черной смородине и в 50 раз – цитрусовые. Картофель, несмотря на то, что в нем гораздо меньше витамина С, является одним из основных источников этого витамина для человека, т. к. он занимает значительный удельный вес в питании населения. Человеческий организм лишен способности как вырабатывать, так и накапливать аскорбиновую кислоту (витамин С), и поэтому нуждается в ежедневном его пополнении.

Суточная потребность в этом витамине в зависимости от интенсивности труда и возраста составляет: у мужчин от 50-100 мг, у женщин 48-80 мг, у беременных – 72 мг, у кормящих грудью – 80 мг.

Витамин D (кальциферол) – группа жирорастворимых соединений, производных стероидов. Эта группа витаминов представлена в виде нескольких соединений, отличающихся по строению и биологической активности. Для человека и животных активными препаратами являются витамины D₂ — эргокальциферол и D₃ — холекальциферол. В растениях содержатся провитамины витаминов группы D — фитостерины — метиленициклоартенол, кампестерин, ситостерин, стигмастерин, которые под действием ультрафиолетовых лучей с длиной волны 280–310 нм в организме животных и человека превращаются в витамины группы D.

С химической точки зрения фитостерины представляют собой одноатомные ненасыщенные циклические спирты, в основе структуры которых лежит кольцо фенантрена. Эти витамины образуются в коже человека под действием света.

Витамин D регулирует транспорт ионов кальция и фосфора через клеточные мембраны. В организме человека и животных витамин D регулирует содержание кальция и неорганического фосфора в крови, участвует в минерализации костей и зубов. Этим и объясняется его второе название: кальциферол, или несущий кальций.

Отсутствие или недостаток витамина D является причиной возникновения рахита, внешне проявляющегося деформацией костей. Потребность в этом витамине особенно велика у детей до 3-4 лет, а также у женщин в период беременности и кормления ребенка. Взрослым витамин D нужен, чтобы предохранить от размягчения и ломкости костей.

Наиболее богата этим витамином печень рыб и животных (табл. 26; Кретович В.Л., 1986).

Таблица 26 – Содержание витамина D в продуктах питания, мкг/100 г

Продукт	Содержание
Жир из печени трески	125
Печень животных	0,2—1,2
Масло сливочное (летом)	1—2
Масло сливочное (зимой)	0,3—0,5
Молоко	0,02—0,1
Яичный желток (зимой)	3,5
Яичный желток (летом)	12,5
Масло растительное	25—50
Пивные дрожжи	12500—25000

Витамин D содержится также в рыбьем жире, дрожжах, яичном желтке, жирных сырах, сливочном масле, молоке, яйцах; обнаружен в некоторых растительных продуктах (морковь, шпинат, малина, лимон, семена подсолнечника). Содержание витамина D в продуктах увеличивается в весенний и летний периоды и уменьшается в осенне-зимнее время. Обеднению организма витамином D способствуют недостаточное ультрафиолетовое облучение, нарушение процессов всасывания в кишечнике и снижение содержания витамина в пище. Минимальная норма витамина D для детей разных возрастов колеблется от 0,0025 до 0,01 мг. Такая же доза может быть рекомендована беременным женщинам и кормящим матерям.

Витамин E (токоферол) – группа жирорастворимых соединений, производных хромана; объединяет группу из семи витаминов-токоферолов. Токоферолы регулируют интенсивность свободно-радикальных реакций в живых клетках, предотвращают окисление ненасыщенных жирных кислот в липидах мембран, влияют на биосинтез ферментов.

При недостатке этого витамина нарушаются окислительные процессы и минеральный обмен, особенно кальция и фосфора, а также половая деятельность мужского и женского организмов; развивается дистрофия мускулатуры. Важнейшее свойство витамина E – способность повышать накопление во внутренних органах жирорастворимых витаминов.

Витамин E обладает антиоксидантными свойствами; участвует в формировании межклеточного вещества, коллагеновых и эластичных волокон соединительной ткани, гладкой мускулатуры сосудов, пищеварительного тракта.

Витамин E содержится главным образом в зеленых овощах – салате, шпинате, зеленом горошке, бобовых, в зерне овса, пшеничных и кукурузных зародышах, а также в очень малых количествах – в животных тканях (печени). Наиболее богаты им растительные жиры, например, кукурузное, подсолнечное, соевое, хлопковое, облепиховое масло; есть также в молоке, молочных продуктах, яйцах. Суточная потребность в витамине 20-30 мг. В день 1,5-2 столовые ложки растительного масла полностью обеспечивают взрослого человека суточной дозой токоферола.

Витамин F (незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты). Главные из этих кислот – линолевая, линоленовая и арахидоновая, предотвращающие избыточное накопление холестерина в стенках кровеносных сосудов.

При недостатке в организме этого витамина происходит поражение кожных покровов: образуются язвы, некрозы, изменяется пигментация; наблюдается ломкость и выпадение волос, ломкость и расслоение ногтей. Витамин F укрепляет организм, способствует нормализации обмена веществ, задерживает развитие склеротических процессов, в частности, препятствует атеросклерозу, эффективен при лечении ран и язв, повышает сопротивляемость организма к экземам и воздействию радиоактивных элементов, влияет на процессы лактации и размножения.

Содержится в сливочном масле, мясе, растительных и животных жирах. Суточная потребность в витамине 2000-4000 мг, для чего достаточно ежедневно потреблять 20-30 г любого растительного масла. Из растительных масел наиболее богаты этим витамином льняное, конопляное, кукурузное, соевое, хлопковое и ореховое.

Витамин H (биотин) – водорастворимый витамин, являющийся коферментом карбоксилазы и принимающий участие в биосинтезе дикарбоновых органических кислот из монокарбоновых.

При недостатке витамина H в организме возникают нарушения обменных процессов кожи человека: дерматит, экзема, себорея. Принимает участие в жировом обмене; регулирует нервную систему. Источники: молоко, мясо, яйца; из растительных пищевых продуктов витамином H богаты пшеница, рис, соя, молодые бобы фасоли, арахис, миндаль, грецкие орехи, плоды черной смородины и малины, чай, зеленый горошек, помидоры, зеленый лук, картофель, цветная капуста. Суточная потребность в витамине 0,15-0,30 мг.

Витамин K (филлохинон, викасол) – группа жирорастворимых соединений, производных нафтохинона; функционирует как переносчик электронов в дыхательной цепи.

При отсутствии в пище витамина K или нарушении его всасывания и усвоения организмом возникает кровоточивость. Витамин принимает участие в процессах свертывания крови, – он крайне необходим для образования протромбина и для превращения последнего в тромбин (не случайно витамин K получил свое название от латинского слова "коагуляция", что означает "свертывание крови"). В животных продуктах содержится витамин K₂, а в растительных – K₁ (2-метил-3-фитил-1,4-нафтохинон), который в организме человека и животных превращается в витамин K₂.

Витамин K₁ содержится в салате, петрушке, шпинате, кочанной и листовой капусте, моркови, картофеле, помидорах, соевом масле, бобовых, печени, орехах. Наиболее высокое содержание этого витамина отмечено в плодах шиповника, листьях крапивы и люцерны. Продукты животного происхождения, кроме печени, содержат незначительное количество витамина K. Кроме продуктов питания, источниками витамина K являются бактерии, которые вырабатывают его в кишечнике человека. Суточная потребность организма человека в этом витамине 0,2-3,0 мг.

Витамин Р (рутин) – водорастворимый витамин, входящий в состав ферментных систем, участвующих в окислительно-восстановительных процессах, в частности при окислении и восстановлении аскорбиновой кислоты и адреналина, регулирующий проницаемость сосудистых стенок.

Витамин Р входит в группу биологически активных веществ, оказывает капилляроукрепляющее действие, уменьшает проницаемость сосудистой стенки. Р-гиповитаминоз обычно сочетается с недостаточностью аскорбиновой кислоты. При этом возможны хрупкость стенок мелких сосудов, точечные кровоизлияния, быстрая утомляемость. Оказывает укрепляющее действие на прочность стенок капилляров кровеносных сосудов; помогает организму усваивать и накапливать аскорбиновую кислоту. Витамин Р оказывает положительное действие на пищеварение, работу печени и желчного пузыря.

Витамин Р впервые выделен из красного стручкового перца ("Р" – от венгерского слова "paprika"). Наиболее высокое содержание биофлавоноидов отмечено, кроме перца, в шиповнике, гречихе, шавеле кислом, петрушке листовой, сельдерее, моркови, свекле, белокочанной капусте, сливе, черноплодной рябине, ягодах черной смородины, красном виноградном вине, плодах цитрусовых, хурме, чае. Имеются различные препараты витамина Р: цитрин, выделенный из лимонного сока; катехины – из зеленых листьев чая и из плодов цитрусовых растений; рутин – из чайного листа, листьев гречихи и японской софоры. Последний препарат обладает выраженным капилляроукрепляющим действием, способствует более эффективному использованию организмом аскорбиновой кислоты. Суточная потребность в витамине Р 25-35 мг.

Витамин Q (убихинон) – производное хинона, у которого в кольце есть метоксильные группы, а в боковой цепи – изопреноидная группировка, состоящая из опреновых остатков; участвует в процессах окислительного фосфорилирования в качестве переносчиков электронов между флавопротеидами и цитохромом. Синтезируется из тирозина или фенилаланина. Этого витамина много содержится в сердечной мышце.

Витамин U (метилметионинсульфоний). Этот витамин (метилметионинсульфоний хлорид) – активированная форма метионина. Стимулирует заживление поврежденных оболочки желудочно-кишечного тракта, способствует синтезу холина, креатина и других важных для организма соединений. Кроме того, этот витамин оказывает влияние на жировой обмен, улучшает мозговое и коронарное кровообращение при атеросклерозе, ускоряет лечение болезней кожи. Витамин U не только обладает противосклеротическим и противоаллергическим действием, но и предотвращает развитие язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, за что этот витамин и получил название: "противоязвенный". Впервые обнаружен в соке белокочанной капусты; также содержится в сельдерее, свекле, томатах, зеленом чае, в соках из сырых овощей и плодов.

Липоевая кислота – относится к группе витаминов. Эффективна для нормализации обмена углеводов, – принимает участие в превращении пировиноградной кислоты в кофермент А, который играет важную роль в углеводном обмене, а превращениях белков и жиров. Незаменимый фактор роста для микроорганизмов, в том числе молочнокислых бактерий. Предупреждает ожирение печени; нормализует жировой и холестеринный обмен, оказывает детоксицирующее действие при отравлении солями тяжелых металлов (ртуть, свинец, кадмий) и при других интоксикациях. Особенно много липоевой кислоты накапливается в таких органах, как печень, почки, сердце. Липоевая кислота содержится в большинстве пищевых продуктов. Из растительных продуктов особенно богаты ею рис и белокочанная капуста. Суточная потребность человека в липоевой кислоте 1,0-2,0 мг (Махов А.А., 1989).

Парааминобензойная кислота (ПАБК) – относится к группе витаминов. Эффективно способствует нормализации функций щитовидной железы; с лечебной целью применяется при некоторых кожных заболеваниях. В значительных количествах содержится в дрожжах, печени, пшеничных зародышах, шпинате и других растениях.

Карнитин – также относится к группе витаминов. Переносчик жирных кислот из цитоплазмы клеток в митохондрии, в которых он окисляется. В организме человека синтезируется из лизина. Нормализует функцию мышц. Карнитин – фактор роста человеческого организма.

В организмы животных витамины поступают главным образом из растений: у травоядных – непосредственно, у хищных – в результате питания травоядными. Следовательно, потребность человека и животных в витаминах может удовлетворяться исключительно за счет растений. Одним из важнейших условий образования витаминов является нормальное обеспечение растений минеральным питанием, которое используется ими для построения своего тела и для биосинтеза витаминов. Корни – не только поставщики минеральных элементов, но они и сами непосредственно синтезируют многие жизненно необходимые соединения, в т. ч. и витамины. Зависимость содер-

жания витаминов от обеспечения растений питательными веществами обусловлена как непосредственным участием некоторых элементов (азота, серы, кобальта) в образовании витаминов, так и активированием ферментных систем (P, K, Mg, Ca, Fe, микроэлементы), осуществляющих биосинтез.

Азотное питание усиливает образование витаминов B₁, B₂, B₆, аскорбиновой кислоты и каротина. При внесении фосфорных и калийных удобрений создаются благоприятные условия для образования этих витаминов. При недостатке калия в питательной среде сильно задерживается биосинтез витамина тиамин и каротина, фосфора и серы – тиамин, биотин, пантотеновой и фолиевой кислот. Без бора резко понижается содержание в растениях аскорбиновой кислоты. Цинк, марганец, медь, кобальт и молибден усиливают накопление в растениях аскорбиновой кислоты и каротина. Медь необходима для образования витамина PP, марганец – тиамин, кобальт – витамина B₁₂.

Медь, цинк, бор, магний, железо и молибден не только усиливают биосинтез витаминов, но, вступая в реакцию с последними, образуют комплексные соединения, в т. ч. и ферменты, обладающие высокой физиологической активностью. В связи с этим становится понятной причина ускоренного образования углеводов и белков, наблюдаемая при удобрении растений микроэлементами. Это результат действия микроэлементов на активность ферментов и ферментативных систем, в состав которых входят витамины. Если растения не обеспечены всеми необходимыми элементами минерального питания, биосинтез витаминов задерживается. Это может привести к нарушению обмена веществ, в т. ч. корневого питания растений, в котором витамины принимают непосредственное и разностороннее участие. Растения, хорошо обеспеченные элементами минерального питания, как правило, богаче витаминами. Однако повышенная концентрация солей в почве тормозит их образование.

4. РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ

Между живой и неживой природой существует материальная общность: химическая основа живых существ сформирована элементами, которые присутствуют в окружающей среде.

Б.А. Ягодин, 2002

4.1. Макроэлементы

Углерод. Среди биогенных элементов углерод занимает уникальное положение; жизнь на нашей планете имеет углеродную основу. Так было и в далеком прошлом: горючие ископаемые – газ, нефть, сланцы, торф – это углеродистые вещества. Особенно богат этим элементом каменный уголь. Углерод может принимать степени окисления от +4 (CO₂) до -4 (CH₄), причем в составе одной и той же молекулы могут находиться атомы углерода с разными степенями окисления. Это определяет существование большого количества органических соединений и богатство превращений. В отличие от других химических элементов, атомы углерода могут соединяться одинарными, двойными и тройными связями как между собой, так и с атомами многих других элементов, формируя при этом углеродные цепи практически любой длины. Эти цепи способны ветвиться, а также замыкаться в кольца различного строения и размера. На углеродном "скелете" могут прочно "крепиться"

самые разнообразные функциональные группировки, создавая поистине неисчерпаемое богатство органических соединений.

Углерод является универсальным компонентом всех без исключения живых организмов. На долю этого элемента приходится 45 % массы растения. Он входит в состав: углеводов, выполняющих роль молекулярного "топлива" клетки; белков играющих роль "молекулярных машин", которые осуществляют самые разнообразные функции живой клетки, начиная с фотосинтеза и кончая переносом веществ через мембраны; нуклеиновых кислот, которые программируют работу всей клетки и, в первую очередь, работу механизмов сборки белков; липидов, образующих мембраны клетки.

При дыхании растений, как и других живых организмов, в результате биологического окисления углеводов, липидов, белков выделяется CO_2 :



Этот процесс служит основным источником энергии для организмов, а также механизмом, благодаря которому углерод из "царства" органических соединений переходит в "царство" минеральных. Причем, выделение диоксида углерода может происходить не только в присутствии кислорода при дыхании, но и в анаэробных условиях – в процессе брожения. Растворяясь в воде, диоксид углерода образует угольную кислоту, которая диссоциирует с образованием карбонат-иона CO_3^{2-} и гидрокарбонат-иона HCO_3^- . В совокупности эти ионы образуют гидрокарбонатную буферную систему организма. Анион HCO_3^- , кроме того, играет исключительно важную роль в корневом питании растений. Поглощая из почвы элементы минерального питания, растение совершает своеобразный обмен с почвенным поглощающим комплексом: отдает HCO_3^- , а забирает анионы других биогенных элементов.

Автотрофные организмы в процессе эволюции "научились" усваивать предельно окисленное соединение углерода – CO_2 , восстанавливая его до полисахаридов, например, до глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ или более простого метана CH_4 . Углерод, поглощенный растениями в виде CO_2 , является основным субстратом фотосинтеза. Растения способны воспринимать углекислоту как через корни, так и через листья. Как показали исследования, 75–80 % диоксида углерода растения ассимилируют из воздуха через листья и только 20–25 % поглощают корневой системой из почвы в форме аниона HCO_3^- . Следовательно, преобладающим компонентом в углеродном питании растений является углекислота. Ее содержание в обычном воздухе не превышает 0,03 %. Вместе с тем установлено, что для большинства культурных растений оптимальная концентрация CO_2 составляет 0,3–0,6 %, т. е. многократно превышает его концентрацию в атмосфере.

Посевы зерновых культур связывают около 15 кг CO_2 /га·ч. Чем выше формирующийся урожай сельскохозяйственных культур, тем больше требуется диоксида углерода. На удобренных органическими удобрениями полях при интенсивном связывании CO_2 в ярусе растений часто наблюдается дефицит углерода. Внесение органических удобрений резко увеличивает концентрацию диоксида углерода в почвенном и надпочвенном воздухе. Минеральные удобрения в зависимости от содержания гумуса и других органических веществ в почве увеличивают продуцирование CO_2 на 20–120 %. В защищенном грунте для обеспечения растений углеродом применяют воздушную подкормку CO_2 . Припочвенный слой воздуха может также обогащаться диоксидом углерода за счет извести при известковании кислых почв, при внесении мочевины и удобрений, содержащих карбонаты.

Кислород входит в состав всех без исключения важнейших макромолекул клетки: углеводов, белков, липидов, нуклеиновых и аденозинфосфорных кислот. Однако роль кислорода не ограничивается лишь тем, что он входит в состав почти всех органических и неорганических соединений растительного организма. На его долю приходится 42 % сухого вещества растений. Такие фундаментальные процессы, как фотосинтез и дыхание, совершаются с вовлечением в биологический обмен и круговорот веществ на Земле не связанного, а свободного кислорода.

Кислород отличается высокой реакционной способностью и легко вступает в соединения с различными элементами. В результате биологического окисления углеводов, жиров и белков кислородом растения получают необходимую для жизнедеятельности энергию.

В растения кислород поступает при дыхании преимущественно в молекулярной форме, в составе воды и диоксида углерода. У водных растений кислород поступает в ткани путем диффузии из окружающей их воды. У наземных – газообмен с атмосферой происходит также за счет диффузии. *Диффузия* – физический процесс, при котором молекулы перемещаются из области высокой концентрации данного вещества в область низкой его концентрации до тех пор, пока их распределение не станет равномерным. Высшие растения все без исключения являются аэробными организмами, т.е. они нуждаются в непрерывном снабжении кислородом извне. Если концентрация кислорода в тканях данного организма ниже, чем в окружающей среде, то кислород диффундирует в ткани. Поскольку растения постоянно расходуют кислород в процессе дыхательного обмена, то его содержание в организме остается на низком уровне, что и обуславливает его непрерывную диффузию в ткани. В целом растения малочувствительны к понижению парциального давления кислорода, и при этом их дыхание заметно не замедляется. Однако при недостатке кислорода поглощение питательных веществ корнями растений ослабевает быстрее, чем дыхание. Питание растений аммонийным азотом усиливает в них восстановительные процессы, содействует накоплению более восстановленных продуктов. Нитратная (окисленная) форма азота, усиливая окислительные процессы, действует в обратном направлении. Интенсивностью дыхания определяются процессы цикла взаимосвязанного превращения азотистых веществ, углеводов и органических кислот в растениях. С участием кислорода происходит минерализация органических веществ, которая завершает биологический круговорот элементов питания, переводя их в доступное для растений состояние.

По устойчивости к анаэробным условиям среды все растения делятся на три группы: 1) истинно устойчивые; 2) кажущиеся устойчивыми и 3) неустойчивые. К *первой группе* относятся растения, устойчивые к аноксии*, поскольку их резистентность проявляется в условиях полного исключения атмосферного кислорода из среды обитания и реализуется на молекулярном уровне. Ко *второй группе* относятся растения, клетки и ткани которых не обладают молекулярными механизмами адаптации к аноксии, довольно чувствительные к отсутствию молекулярного кислорода в среде обитания. В анаэробной среде они избегают анаэробноза благодаря транспорту кислорода из аэрируемых надземных органов. Наконец, к *третьей группе* относятся мезофиты, у которых признаки истинной или кажущейся устойчивости либо не выражены, либо выражены слабо.

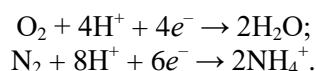
* Аноксия – отсутствие кислорода в отдельных органах, тканях и в организме в целом.

Несмотря на то, что кислород является одним из продуктов процесса фотосинтеза, в условиях полного анаэробноза процесс фотосинтеза останавливается. Это связано с торможением процесса дыхания и накоплением продуктов неполного окисления, в частности органических кислот. Необходимо отметить также, что процесс фотосинтеза тормозится и при возрастании концентрации кислорода в атмосфере до 25 %. Данное явление получило название "эффект Варбурга". Тормозящее влияние высоких концентраций кислорода на фотосинтез проявляется особенно резко при повышенной интенсивности света. Происходящее в растительных клетках индуцированное светом поглощение кислорода и выделения диоксида углерода с использованием в качестве субстрата промежуточных продуктов цикла Кальвина называется *фотодыханием*. Выделение диоксида углерода при фотодыхании может достигать 50 % от всего CO_2 , усвоенного в процессе фотосинтеза. Фотодыхание представляет как бы короткозамкнутую цепь фотосинтеза, в которой образовавшаяся "восстановительная сила" используется не на восстановление диоксида углерода до углеводов, а для восстановления молекулярного кислорода, и не сопровождается окислительным фосфорилированием аденозиндифосфорной кислоты. Одна из концепций значения фотодыхания предполагает его защитную роль. Сброс избыточной энергии позволяет предотвратить деструкцию фотосистем, избежать прекращения фотохимических процессов при высокой освещенности и недостатке диоксида углерода. Фотодыхание обеспечивает сбалансированность световой и темновой фаз фотосинтеза, их зависимость от потребности в продуктах фотосинтеза.

Водород является органогенным элементом, на долю которого приходится 6,5 % сухой массы растения. В растениях водород присутствует обычно либо в виде катиона (H^+), либо в форме соединений с биогенными элементами (C, O, N, S). В последнем случае степень полярности связи "элемент–водород" обуславливает важнейшие свойства таких соединений; например, неполярная связь C–H сообщает гидрофобный, т. е. "водоотталкивающий" характер тем участкам молекул, в которых они находятся. Широко представлены в биомолекулах и полярные связи O–H, N–H, S–H, причем величина положительного заряда на атоме водорода придает спиртовой группе, аминогруппе или сульфгидрильной группе различную кислотность. Водород наряду с кислородом принимает активное участие в сопряженных биологических процессах гидролиза и синтеза, окисления и восстановления. Он входит в состав углеводов, липидов, нуклеиновых кислот, белков и других азотистых соединений. Наконец, водород – составляет часть воды, которая является одним из важнейших соединений, обладающих уникальными физико-химическими свойствами и биологическими функциями. Содержание его в углеводах, жирах и белках составляет соответственно 6,48; 12,13 и 7,00 %; вода содержит 11,11 % связанного водорода. Из 1000 г воды, поглощенной растениями, приблизительно 990 г испаряется, а 10 г задерживается в растении. Из них химически связывается около 1–2 г, а 8–9 г закрепляется осмотическим и коллоидно-химическим путями.

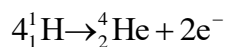
К числу кислот важнейших биоорганических соединений относятся фосфорная кислота в составе ДНК, РНК и АТФ, молочная, аскорбиновая, никотиновая, лимонная и многие другие кислоты; их физиологическая активность определяется концентрацией протонов [H^+]. Именно концентрация ионов водорода непосредственно влияет на прохождение в биологических средах окислительно-восстановительных реакций. К их числу относятся важные

превращения, как, например, восстановление кислорода в процессе биологического окисления (дыхания) или ассимиляции молекулярного азота азотфиксирующими бактериями:



Катионам водорода свойственна высокая каталитическая активность. Катализ ионами водорода (кислотный катализ) важен, например, при гидролитическом распаде белков, липидов и углеводов. Говоря о роли водорода, нельзя не упомянуть и о значении водородных связей, образующихся в белках. Все макромолекулы белков и нуклеиновых кислот, а также клеточные мембраны могут сохранять свою структуру и функциональную активность только при наличии водородных связей с водным матриксом. Нельзя не отметить и тот факт, что конечные продукты дыхания – ионы H^+ и HCO_3^- – являются обменным фондом, непрерывно образующимся в организме, на которые и обмениваются в эквивалентных количествах анионы и катионы почвенного раствора. Ионы водорода по своей подвижности значительно превосходят ионы других элементов. С этим связано активное участие водорода в обмене веществ в клетках, в процессе поступления анионов и катионов различных солей из питательной среды в растения. Растения воспринимают водород преимущественно в составе воды, катиона аммония и аниона фосфорной кислоты. Однако основным источником этого элемента для растений является вода. Подавляющая масса воды поступает в растения через корни, т.е. из почвы.

В заключение уместно вспомнить, что для всех живущих на Земле организмов источником существования служит энергия солнца. Не будем при этом забывать, что первооснова этой энергии – термоядерная реакция, протекающая с участием протонов водорода, который в виде плазмы составляет около половины массы Солнца:



Азот. Роль азота в жизни растений и в природе чрезвычайно велика. По биофильности* этот элемент (160) занимает второе место после углерода (7800). Несмотря на то, что содержание азота в недрах Земли весьма не велико и составляет всего лишь 0,04 % от массы земной коры, в почвах наблюдается значительная концентрация этого элемента – в среднем 0,1 %. В живом веществе содержание азота по отношению к почве резко увеличивается. В среднем его содержится 1–3 % от массы сухого вещества растений. Азот составляет основную массу атмосферы – 78 %, т.е. над каждым метром поверхности Земли находится около 8 т азота, а общее количество этого элемента, находящегося над земной поверхностью, равно $4 \cdot 10^{15}$ т. История азота атмосферы тесно связано с растениями, животными и почвой. Этот элемент входит в состав любой аминокислоты и, следовательно, в состав всех без исключения белков, являющихся важнейшей частью протоплазмы и компонентом любой мембраны – универсальной структурной единицы клетки. Белки находятся также в межфибриллярных полостях клеточных стенок. Азот служит строительным материалом органелл клетки. Он входит в состав нуклеиновых кислот, являющихся носителями наследственных свойств растительного ор-

* Биофильность – кларк концентрации элемента в живом веществе.

ганизма. Азот – обязательный компонент хлорофилла, без которого немислим процесс фотосинтеза. Этот элемент положительно влияет на размеры и ультраструктуру хлоропластов, увеличивая количество гран*; повышает содержание белков – переносчиков электронтранспортной цепи фотосинтеза, увеличивает интенсивность фотосинтеза и коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации. Азот – составная часть ростовых веществ, алкалоидов и витаминов; участвует в образовании путресцина, спермидина, спермина, кадаверина и других полиаминов, которые влияют на структуру хроматина нуклеиновых кислот и рибосом, а также регулируют процессы деления клеток и обладают протекторными (защитными) свойствами. Наконец, этот элемент входит в состав ферментов – биологических катализаторов, под влиянием которых происходят все без исключения физиолого-биохимические процессы в растительном организме.

Азот поступает в растения в виде ионов аммония, нитрата и нитрита. Но в естественных условиях последний редко бывает источником питания, поскольку его содержание в почве незначительное. Аммоний поступает в растения в форме катиона по механизму унипорта или электрогенного антипорта при участии сопутствующего аниона. Поглощение нитрата корнями растений обусловлено соотношением скоростей одновременно протекающих притока и оттока аниона NO_3^- . Система поглощения нитрата вполне автономна и прямо не связана с его восстановлением. В последнее время в связи с развитием хемиосмотических и котранспортных концепций большое признание получила гипотеза обменного $\text{NO}_3^-/\text{OH}^-$ – антипорта. В ее пользу свидетельствует факт быстрого подщелачивания среды при поглощении нитрата корнями, а также прямое сопряжение процесса редукции нитрата в растении с образованием гидроксильных ионов ($\text{NO}_3^- + 6\text{H} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$) и появление OH^- –градиента на плазмалемме. Кроме перечисленных минеральных форм азота растения способны усваивать аминокислоты, амиды, полипептиды и другие водорастворимые азотсодержащие органические соединения. Использовать в качестве источника питания свободный азот высшие растения непосредственно неспособны, поскольку они не в состоянии преодолеть силы сцепления атомов в его молекуле.

Эффективность использования растениями различных форм азота зависит от температуры и реакции среды. В слабокислой среде, при $\text{pH}=5$, лучше поглощаются нитрат-анионы. Наоборот, в нейтральной среде, при $\text{pH}=7$, преимущество имеют катионы аммония. Если в почвенном растворе присутствуют оба иона, при низких положительных температурах порядка $+10^\circ\text{C}$ NH_4^+ поглощается сильнее, чем NO_3^- ; наибольшей величины поступление NH_4^+ достигает при температуре 25°C . Поглощение растениями NO_3^- также усиливается с увеличением температуры, опережает поглощение NH_4^+ при 23°C и продолжает нарастать, достигая максимума при 35°C .

Из всех поступивших из почвы в растения соединений азота только аммоний метаболизируется непосредственно в корнях, превращаясь в азот аминокислот и амидов. Образование аминокислот путем присоединения аммиака к кетокислотам с участием соответствующих ферментов называется *прямым аминированием*. Азот в аминокислотах содержится в виде аминогруппы NH_2 . С участием соответствующих ферментов аланин, аспарагиновая и глутами-

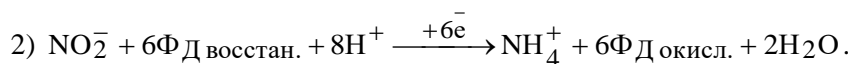
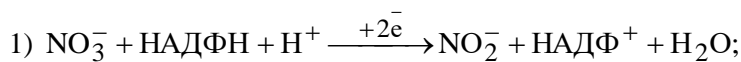
* Граны – основные элементы внутренней структуры хлоропласта. Представляют собой локальные, упорядоченно сгруппированные пачки тилакоидов – замкнутые уплощенные мембранные структуры хлоропластов.

новая аминокислота могут передавать свои аминокислотные группы другим кетокислотам, в результате чего возникают новые аминокислоты. В этом случае идет *реакция переаминирования*, т.е. такой процесс, когда осуществляется перенос аминокислотной группы аминокислоты на кетокислоту и в результате образуются новые аминокислоты. Переаминирование особенно важно для синтеза белков, а также для процесса дезаминирования аминокислот, когда идет образование кетокислот и аммиака. Полученные при этом кетокислоты преимущественно служат для образования углеводов и липидов. Аммиак же идет на образование аминокислот в результате прямого аминирования кетокислот, которые получают из углеводов. Реакция переноса аминокислотной группы осуществляется с участием фермента аминотрансферазы.

Аммиак в свободном виде содержится в тканях растений в незначительных количествах. Накопление его, особенно при недостатке кетокислот – щавелевоуксусной, кетоглутаровой или фумаровой, являющихся продуктом неполного окисления углеводов, может привести к аммиачному отравлению растений. Однако растения способны связывать избыток свободного аммиака. Значительная часть его вступает во взаимодействие с ранее синтезированными аспарагиновой и глутаминовой аминокислотами с образованием соответствующих амидов – аспарагина и глутамина. Процесс образования амидов позволяет растениям избежать аммиачного отравления, создать резерв аммиака, который может быть использован ими в дальнейшем по мере необходимости. Кроме того, амиды играют важную роль в синтезе белков. Более простым способом связывания аммиака является образование аммонийных солей органических кислот. У растений с кислым клеточным соком (щавель, осоки, хвощи, бегония) содержание аммонийного азота в десятки раз превосходит количество амидного азота. Аммиак в растениях обезвреживается и при образовании мочевины. Исходным продуктом для синтеза мочевины служит аминокислота орнитин, которая, присоединяя аммиак и углекислоту, превращается в цитруллин. Последний, в свою очередь, присоединяет еще одну молекулу аммиака и образует аргинин. Аргинин под действием фермента аргиназы с участием воды расщепляется на орнитин и мочевину. Мочевина не токсична для растений, и после расщепления ферментом уреазой служит источником азота для синтетических процессов. Предотвращение нарушения обмена веществ, сохранение минерального азота для дальнейшего использования в процессах ассимиляции возможно и путем непосредственного окисления избыточного количества аммония в растениях до нитратов.

Нитратный азот может накапливаться в растениях в значительных количествах, не причиняя им вреда. Поступившие в растения ионы NO_3^- запасаются либо в вакуолях, либо в цитоплазме. Вакуолярный фонд, составляющий большую часть нитратов в клетке, является запасным компартментом и медленно взаимодействует с цитоплазматическим активным фондом. Это связано с тем, что нитратредуктаза, определяющая восстановление нитратов, находится в клетке вне вакуоли.

Азот входит в состав органических соединений исключительно в восстановленной форме. Поэтому включение нитратов в обмен веществ начинается с их восстановления, которое может происходить как в корнях, так и в листьях. Относительная доля участия этих органов в редукции нитратов является видовым признаком. Превращение нитрата в аммиак осуществляется в две стадии: первая из которых катализируется нитратредуктазой, а вторая – нитритредуктазой:



Фермент нитратредуктаза локализован в цитозоле клеток корня и листа, где и протекает процесс восстановления нитратов до нитритов. Нитритредуктаза локализована в хлороплекстах листьев или пропластидах корней. Донором электронов в листьях служит восстановленный ферредоксин (Ф_д), который образуется при функционировании на свету фотосистемы I (ФС I). В корнях NO₂⁻ восстанавливается в пропластидах с использованием НАДФН, образующегося в пентозофосфатном цикле дыхания.

Использование различных источников восстановителя приводит к существенной разнице в энергозатратах на превращение NO₃⁻ в NH₄⁺ в корнях и надземных органах растений. Если привести затраты к одному эквиваленту, то в листьях на восстановление 14 г азота нитрата расходуется 15 г глюкозы, а в корнях 60 г, т. е. в 4 раза больше. Такое преимущество перед корнями в энергетических расходах листья имеют лишь на свету.

Нитриты, образующиеся на первом этапе редукции нитратов, быстро усваиваются растительными клетками и не накапливаются, что связано с их высокой токсичностью и более высокой (в 5–20 раз) активностью нитритредуктазы по сравнению с нитратредуктазой. Поэтому в процессе восстановления нитратов до аммиака лимитирующей стадией является процесс редукции нитрата до нитрита.

Аммиак, поступивший в растение извне, образовавшийся при восстановлении нитратов или в процессе фиксации молекулярного азота, далее усваивается растениями в результате восстановительного аминирования кетокислот, поставляемых дыханием. Первичная ассимиляция аммиака происходит с участием таких ферментов, как глутаматдегидрогеназа, аспартатдегидрогеназа, глутаминсинтетаза, аспартатдегидрогеназа, аланиндегидрогеназа, глициндегидрогеназа и карбомиилфосфатсинтетаза. Включившись в аминокислоты и амиды, азот далее может переходить в другие углеродсодержащие вещества. Наиболее активно участвуют в метаболизации аммиака глутаминовая и аспарагиновая кислоты, их амиды, а также карбомиилфосфат. Эти соединения образуют пул* азотсодержащих веществ, из которых этот элемент может расходоваться на нужды растительного организма.

Азот для растений является лимитирующим элементом. В метаболизме он постоянно обновляется в составе конституционных и запасных веществ. Потребность в этом элементе растения испытывают с момента прорастания семян, образования корешка и ростка. Азот регулирует толщину клеточных стенок, продолжительность фаз клеточного деления и характер их дифференциации, а также жизненно важные физиолого-биохимические процессы. В онтогенезе растительного организма содержание азота в вегетативной массе увеличивается до фазы цветения, а затем уменьшается за счет оттока в формирующиеся генеративные органы. Максимальное количество азота содержится в товарной части урожая, несколько меньше его в листьях, а минимум – в стеблях.

При недостатке азота тормозится рост, ослабляется образование боковых побегов и кущение у злаков, уменьшается площадь листьев, интенсивность

* Пул — англ. pool буквально общий котел.

наступления фаз развития увеличивается, растения "торопятся" зацвести и дать урожай в ущерб количеству и качеству. Все это приводит к сокращению периода вегетативного роста, снижению фотосинтетического потенциала растения и чистой продуктивности фотосинтеза. Одновременно при этом уменьшается масса корней, но соотношение корней и надземной части при этом может несколько возрасти. Одно из ранних проявлений азотного дефицита – бледно-зеленая окраска листьев нижнего яруса, вызванная ослаблением синтеза пигмента хлорофилла. В молодых листьях такие симптомы появляются позже, поскольку азот может поступать из более старых листьев. Пожелтение нижних листьев указывает на то, что происходит реутилизация* данного элемента.

При недостатке азота накапливаются углеводы, которые не могут быть использованы для синтеза аминокислот и других азотных соединений. В этом случае углеводы используются для синтеза антоцианов, поэтому листья краснеют. Длительное азотное голодание растений ведет к разрушению хлорофилла и серьезному нарушению энергетического обмена растительного организма. Растения слабее используют световую энергию, раньше наступает световое насыщение, а компенсационная точка достигается при более высокой интенсивности света. Интенсивность дыхания несколько возрастает, но уменьшаются сопряженность окисления с фосфорилированием и выработка аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Кроме того, при азотном голодании растений энергетические затраты на поддержание структуры протоплазмы значительно возрастают. У растений, испытывающих дефицит азота, увеличивается интенсивность транспирации, т. к. в клетках уменьшается количество связывающих воду белков. В результате в клетках возрастает относительное количество воды, что и вызывает усиление транспирации. Свободные аминокислоты, входящие в состав клеточного сока, влияют на его осмотический потенциал, а значит и на поступление воды в клетку. Следовательно, обеспеченность растений азотом влияет на оводненность тканей. Все это приводит к снижению продуктивности.

Избыточное количество азота в почве также приводит к отрицательным последствиям, в частности, израстанию вегетативной массы, увеличению продолжительности вегетационного периода, снижению устойчивости растений к болезням и вредителям. Все это приводит к снижению урожая и ухудшению его качества.

Фосфор так же, как и азот, относится к наиболее дефицитным элементам. Его биофильность (0,75) приближается к биофильности серы (1,00). Несмотря на малое содержание в земной коре и в почве, его роль на Земле чрезвычайно велика. Без фосфора нет жизни. Фосфор входит в состав известной агрохимической триады – "азот, фосфор, калий". Содержание этого элемента в растениях колеблется в пределах 0,2–1,3 % от массы сухого вещества.

Фосфор поглощается корнями в виде окисленных соединений, главным образом остатка ортофосфорной кислоты – H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} . Ион PO_4^{3-} не имеет практического значения в питании растений, т.к. при величине рН, при которой развивается корневая система, его почти нет в почвенном растворе. В связи с этим источником фосфорного питания растений могут быть соли как ортофосфорной, так и пиррофосфорной кислоты. Среди солей ортофосфорной кислоты на первом месте стоят кальций-фосфаты, затем калий-фосфаты и магний-

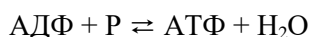
* Реутилизация – вторичное использование растениями элемента минерального питания, т. е. содержащий недостающий элемент вещества в старых листьях разрушаются, образующиеся продукты транспортируются в меристемы и там используются при образовании новых органов.

фосфаты. Для риса и других растений, принадлежащих к группе гигрофитов, наиболее существенным источником фосфорного питания служат железофосфаты. Кроме того, растения могут использовать и органические фосфаты – сахарофосфаты, фитин. Но доступность растениям этих соединений невелика и зависит от скорости их гидролиза в почве до поступления в растение. Последняя в значительной степени зависит от интенсивности выделения корнями растений фермента фосфатазы, осуществляющего непосредственное отщепление фосфорной кислоты от органических соединений.

Находящиеся в почвенном растворе фосфат-ионы благодаря диффузии и обменной адсорбции попадают в свободное пространство корня и проникают через клеточные стенки до плазмалеммы. Близ плазмалеммы они соединяются со специфичными для них носителями и проникают через мембрану в цитоплазму. Радиальное передвижение фосфат-иона в зоне поглощения корня до ксилемы происходит по симпласту, причем его концентрация в клетках корня в десятки-сотни раз превышает концентрацию в почвенном растворе. Транспорт по ксилеме осуществляется в основном или полностью в форме неорганического фосфата; в том же виде он достигает листьев и зон роста. Фосфор легко перераспределяется между органами; из клеток листьев он поступает в ситовидные трубки и по флоэме транспортируется в другие части растения, особенно в конусы нарастания и в развивающиеся плоды. При всех превращениях в растительном организме фосфор сохраняет степень окисленности. Собственно фосфорный обмен сводится лишь к присоединению или переносу остатка фосфорной кислоты, т. е. к *фосфорилированию** или *трансфосфорилированию***.

В растениях фосфор находится в органических и минеральных соединениях. Небольшое количество этого элемента присутствует в клеточном соке в ионной форме. Минеральные соединения фосфора в основном представлены солями калия, кальция и магния. Они являются запасными фосфорсодержащими веществами и используются по мере надобности растительному организму на построение органических соединений. К важнейшим фосфорорганическим соединениям в растениях относятся нуклеиновые кислоты, нуклеотиды, сахарофосфаты, фосфатиды, фосфопротеиды, фосфолипиды и фитин.

Роль фосфора в метаболизме растений разнообразна и чрезвычайно велика. Нуклеопротеиды участвуют в построении клеточных ядер. Фосфатиды контролируют проникновение и обмен веществ в клетках. Аденозинтрифосфорная кислота принимает участие в переносе, накоплении и трансформации химической энергии, необходимой для метаболических превращений. АТФ состоит из пуринового основания аденина, углевода рибозы и трех "остатков" фосфорной кислоты. В энергетическом обмене постоянно происходят превращения АДФ в АТФ и обратно по схеме:



Присоединяя фосфат и превращаясь в АТФ, аденозиндифосфорная кислота обогащается энергией. Переход АТФ в АДФ, наоборот, сопровождается выделением запасенной энергии. В разнообразных реакциях передачи энергии важная

* *Фосфорилирование* – это присоединение остатка фосфорной кислоты к какому-либо органическому соединению с образованием эфирной связи.

** *Трансфосфорилирование* – это процесс, при котором остаток фосфорной кислоты, включенный в состав одного органического вещества, переносится на другое органическое вещество.

роль принадлежит и другой группе фосфорсодержащих соединений – ацилфосфатам. К ним относятся ацетилфосфат и 1,3-дифосфоглицериновая кислота. Из ацетилфосфата в растении синтезируется АТФ, а 1,3-дифосфоглицериновая кислота может передавать свою богатую энергией фосфатную группу АДФ, переводя последнюю в АТФ. Биологическая роль нуклеиновых кислот состоит в хранении, реализации и передаче генетической информации. Входя в состав витаминов, гормонов и коферментов (НАД, НАДФ, ФАД, КоА), фосфорные соединения выступают в качестве регулятора интенсивности биохимических процессов в растениях. Фосфорсодержащие коферменты принимают участие в различных метаболических реакциях. Никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ), входя в состав различных дегидрогеназ, активирует водород (электрон) дыхательного субстрата и передает его акцептору. Передачу электронов по цепи в процессе окисления дыхательного субстрата осуществляют ферменты флавопротеиновой природы. Их коферментами являются флавиннуклеотиды (ФАД), содержащие фосфатную группу. Далеко не полный ряд перечисленных процессов, в которых задействован фосфор, свидетельствует о его исключительной роли в обмене веществ растения.

Большая часть фосфора находится в репродуктивных органах и молодых интенсивно растущих частях растений. Фосфор ускоряет формирование корневой системы растений, она сильнее ветвится и глубже проникает в почву. Основное количество фосфора растения потребляют в первые фазы роста и развития, создавая его определенные запасы. В дальнейшем он легко реутилизируется. Хорошая обеспеченность растений фосфором способствует более экономному расходованию ими воды и повышению засухоустойчивости. Фосфор, улучшая углеводный обмен, способствует увеличению содержания сахаров в узлах кущения злаков и тканях многолетних трав, в результате чего повышается их морозоустойчивость. Этот элемент также повышает устойчивость растений к болезням и вредителям. Оптимальное питание растений фосфором стимулирует процессы оплодотворения цветков, образования завязей и созревания плодов, а также ускоряет развитие растений, повышает урожай и его качество. Однако избыток этого элемента приводит к чрезмерно быстрому развитию растений и раннему созреванию плодов, в результате чего их урожай снижается.

При недостатке фосфора задерживается рост надземных органов и формирование плодов, т. к. нарушаются дыхание и фотосинтез, образуются более мелкие листья, молодые листья становятся сине-зелеными, а старые начинают желтеть от краев к центру, появляются небольшие некротические пятна. Постепенно листья засыхают. Как и при недостатке азота, корни сначала растут в длину быстрее, потом их рост замедляется, и они буреют. Из-за торможения гликолиза и цикла Кребса в клетках корней образуется меньше аденозинтрифосфорной кислоты и кетокислот, являющихся акцепторами аммиака, поэтому уменьшается поглощение растениями азота. В результате снижается синтез аминокислот и белков, что вызывает торможение роста. Уменьшение количества кетокислот тормозит и темновое поглощение диоксида углерода корнями, т. к. кетокислоты являются его акцепторами. Недостаток фосфора снижает интенсивность фотосинтеза сильнее, чем недостаток других элементов минерального питания. При недостатке фосфора наблюдается аномальный круговорот сахаров в растении: возникающие в процессе фотосинтеза углеводы сначала транспортируются в корень, а потом возвращаются обратно в лист, т. к. без фосфора в корнях не происходит гликолиз. Фосфорная недостаточность у растений особенно остро проявляется при холодной дождливой погоде.

Калий является столь же незаменимым элементом в жизни растений, как азот и фосфор, причем из всех катионов калий необходим растениям в наибольшем количестве. Содержание этого элемента в растениях колеблется в пределах 0,5–3,5 % сухой массы. Калий поглощается корнями в форме катиона K^+ и остается в растении как свободный заряженный ион, образуя лишь слабые связи с протоплазмой. Примерно 79 % этого элемента в виде ионов находится в клеточном соке, 20 % – в цитоплазме и лишь 1 % — в необменно-поглощенном состоянии коллоидами клетки. В тканях растений образуется особый класс циклических пептидов – дипсипептиды, которые способствуют проницаемости клеточных мембран для калия. С дипсипептидом калий может комплексоваться, легко преодолевать мембранный барьер и поступать в клетку против градиента концентрации. Этим объясняется превышение содержания калия в растениях над его количеством в почвенном растворе.

А.И. Перельман (1972), используя показатели биофильности – отношение среднего содержания элемента в живом веществе к среднему содержанию его в литосфере, объединил все химические элементы, в так называемый ряд биофильности: N – 106; S – 1; B – 0,83; P – 0,75; Ca – 0,17; K – 0,12; Mo – 0,09; Mg – 0,02; Co – 0,01; Zn – 0,006; Cu – 0,004; Fe – 0,002. Согласно предложенной им классификации, первые места в этом ряду, как биофильные занимают азот, сера, бор, фосфор и кальций. Калий наряду с такими элементами, как молибден, магний, кобальт, цинк, медь и железо, относится к группе среднего и интенсивного биологического накопления. По мнению В.Б.Ильина (1982), суждение о биофильности химических элементов более верно при сопоставлении их концентраций в растительной ткани. В этом случае последовательное, в порядке убывания, расположение концентраций образует следующий ряд биофильности элементов: калий, азот, кальций, магний, фосфор.

Источником калия для растений являются, прежде всего, водорастворимые и обменно-поглощенные формы элемента. В растительных клетках калий высокоподвижен и легко реутилизируется. В растениях этот элемент в основном сосредоточен в молодых растущих тканях, характеризующихся высоким уровнем обмена веществ: меристемах, камбии, молодых листьях, побегах, почках. Передвижению калия из старых листьев в молодые способствует натрий, который может замещать его в тканях растений, завершивших свой рост.

Калиевые насосы – главный механизм устьичных движений. Устьица открываются и закрываются при изменении тургора, вызванного интенсивным транспортом ионов калия между замыкающими клетками устьиц и примыкающими к ним клетками эпидермиса. Когда устьица открыты, замыкающие клетки содержат больше ионов калия.

Величина корневого давления и осмотического потенциала ксилемного сока зависят от концентрации ионов калия. Следовательно, для поступления воды растению нужно поглотить значительное количество калия.

Калий играет в клетке регуляторную роль, изменяя конформацию белковых молекул в мембране и белков-ферментов. Он служит основным противоионом для нейтрализации отрицательных зарядов неорганических и органических анионов. Именно присутствие калия в значительной степени определяет коллоидно-химические свойства цитоплазмы, что существенно влияет на все физиолого-биохимические процессы, происходящие в клетке. Он способствует поддержанию состояния гидратации коллоидов цитоплазмы, регулируя ее вододерживающую способность. Калий стимулирует процесс фотосинтеза, усиливая отток углеводов из мест их образования к местам отложения и превра-

щения моносахаров в ди- и полисахариды. Не входя непосредственно в состав ферментов, этот элемент активизирует их работу. Калий необходим для включения фосфора в органические соединения, реакций переноса фосфорных групп, синтеза белков и полисахаридов. Он участвует в синтезе рибофлавина, стимулирует ряд ферментов цикла Кребса. Многие ферменты, участвующие в синтезе белка, также требуют его присутствия. Калий способствует лучшему использованию железа при синтезе хлорофилла, снижает транспирацию, тем самым поддерживая тургорное состояние клеток. Он влияет на образование клеточных оболочек, в результате чего повышается прочность стеблей и их устойчивость к полеганию. При достаточном обеспечении калием у растений повышается устойчивость к болезням и вредителям. Этот элемент является стабилизатором урожая. В тех регионах, где метеорологические условия подвержены значительным изменениям по годам, обильное удобрение калием способствует меньшей зависимости урожая от погоды.

Критический период в потребности калия приходится на ранние стадии роста и развития растений. Наибольшее же его количество поглощается в период интенсивного нарастания вегетативной массы. Калий присутствует в почве в больших количествах, однако, получение высоких урожаев невозможно без дополнительного внесения калийных удобрений.

При недостатке калия резко снижается содержание макроэргических соединений, подавляется синтез сахарозы и ее транспорт по флоэме, замедляется синтез белка. Последнее приводит к торможению роста побегов и к накоплению аммиачного азота в листьях, что может быть причиной аммиачного отравления. При дефиците калия снижается функционирование камбия, нарушаются процессы деления и растяжения клеток, а также развития сосудистых тканей и уменьшается толщина клеточных оболочек у эпидермиса. Недостаток калия снижает интенсивность фотосинтеза из-за уменьшения скорости оттока ассимилятов из листьев. При исключении калия из питательной смеси в хлоропластах не образуются тилакоиды, приостанавливается рост растений, и они погибают. При значительном недостатке калия листья желтеют с краев. В дальнейшем их края и верхушки приобретают бурую окраску, иногда с красными "ржавыми" пятнами, а затем происходит отмирание и разрушение этих участков. Листья при этом выглядят как бы обожженными (краевой ожог листа).

Избыток калия в почве препятствует поглощению растениями ионов кальция и магния.

Кремний необходим для роста и развития растений. Среднее содержание его в растениях составляет 0,5 % и изменяется в диапазоне от 0,2 до 20 % сухой массы. Растения поглощают этот элемент в виде иона силиката и в форме монокремниевой кислоты. Поступивший в растения кремний в форме монокремниевой кислоты аккумулируется и полимеризуется либо в эпидермальных тканях, образуя двойной кутикулярный слой, либо трансформируется в различные виды фитолитов. Кремний используется растениями для построения клеточных стенок, формирования прочных тканей и скелета. Особенно много его в клеточных стенках. Поглощение кремния растениями селективно и не зависит от транспирационного тока, но связано с аэробным дыханием и процессами гликолиза в корнях. В растениях этот элемент присутствует в трех формах: ионной, коллоидной, труднорастворимой. При этом на долю труднорастворимого кремния приходится 90 % от общего его количества в растениях. Содержание ионного кремния в зависимости от культуры колеб-

летя от 0,5 до 8 %. Коллоидная кремниевая кислота в растении может составлять до 2 % массы сухого вещества. У ряда растений этот элемент находится в виде биогенного опала.

Кремнию принадлежит важная роль в обмене веществ. Наряду с фосфором он является основой биосинтеза макроэргических соединений. Кремний входит в состав макроэргических силикатофосфатов, что обуславливает большую эффективность биоэнергетики кремнефильных растений. Этот элемент может входить в состав нуклеотидов и тем самым образовывать в скелете нуклеиновых кислот сахаросиликатные участки, придавая им повышенную прочность. В растениях функционирует специфический фермент силикатаза, осуществляющий включение неорганического кремния в органические соединения. Кремний влияет на активность нитратредуктазы, пероксидазы, инвертазы и фосфатазы.

Оптимизация кремниевого питания растений приводит к увеличению массы корней, их объема, общей адсорбирующей и активно поглощающей поверхности. Кремний стимулирует дыхание корней, в результате чего создаются благоприятные условия для поглощения растениями элементов минерального питания из почвы. Под его воздействием у растений увеличивается количество вторичных корешков, что создает благоприятные условия для поглощения воды и элементов минерального питания. Кремний является одним из основных компонентов коронарных клеток корневого чехлика. Он способствует реализации функций корневого чехлика: а) предохранение растущей зоны, в первую очередь апикальной меристемы, от повреждения при соприкосновении с почвой; б) облегчение продвижения кончика корня в почве; в) восприятие геотропического стимула, обеспечивающее правильную ориентацию корней в пространстве.

Хорошая обеспеченность растений кремнием приводит к увеличению площади листьев и создает благоприятные условия для биосинтеза необходимого количества фотосинтетических пигментов. У таких растений эффективнее работают светособирающие комплексы, расположенные в тилакоидах хлоропластов, что приводит к усилению интенсивности фотосинтеза. Кремний влияет на механическую прочность тканей, что препятствует полеганию растений и способствует выпрямлению листьев. Вследствие этого растения и отдельные листья не затеняют друг друга, снижается их конкуренция за свет и возрастает продуктивность фотосинтеза. Таким образом, существует связь между обеспеченностью растений кремнием и его фотосинтетической деятельностью.

Кремний повышает устойчивость растений к полеганию и засолению, частично нейтрализует токсическое действие тяжелых металлов, повышает доступность фосфатов почвы и удобрений. Под воздействием этого элемента повышается стойкость растений к болезням и повреждению насекомыми. Кремний, локализуясь под кутикулой в виде тонкого слоя кремний-целлюлозной мембраны, предохраняет растение от излишнего испарения, тем самым снижает интенсивность транспирации. Кроме того, усвоение кремния сопряжено с поглощением натрия и калия. Поэтому в условиях почвенного засоления растения способны накапливать повышенные количества кремния, что, в свою очередь, увеличивает устойчивость их к засолению.

Недостаток кремния задерживает рост растений и повышает их восприимчивость к болезням и вредителям. Исключение его из питательной среды в период репродуктивной стадии развития вызывает уменьшение урожая и ухудшение качества продукции. При отсутствии в питательной среде кремния нарушается ультраструктура и функции клеточных органелл, что приводит к гибели растения.

4.2. Мезоэлементы

Сера. Содержание серы в растениях составляет 0,005–1 % сухой массы. В растения она поступает через корни в форме иона SO_4^{2-} , а также поглощается листьями из атмосферы в виде SO_2 . Трансмембранный перенос сульфата осуществляется в котранспорте с ионом H^+ или в обмен на ионы HCO_3^- . Источником серы для питания растений являются сульфаты кальция, магния, калия, а на солонцах и сульфаты натрия. В растениях этот элемент содержится в окисленной и восстановленной формах. Содержание и соотношение этих форм в растениях зависит как от активности процессов редукции и ассимиляции сульфата, так и от концентрации SO_4^{2-} в питательной среде. Окисленная форма серы – исходный продукт для синтеза белков. Она же является и конечным продуктом при их распаде. В молодых активно растущих органах растений, где преобладают синтетические процессы, сера находится преимущественно в восстановленной форме – в составе сульфгидрильных групп и дисульфидных связей. По мере завершения онтогенеза растений, когда начинают преобладать процессы гидролиза над синтезом, в них возрастает количество окисленных соединений серы.

Сера является составной частью трех важнейших аминокислот – цистина, цистеина и метионина, которые могут находиться в растениях как в свободном виде, так и в составе белков. Протеин хлоропластов и цитоплазмы богат серой, что определяет ее непосредственное участие в фотосинтезе. Входя в состав биотина, тиамина, коэнзима А, глутатиона и других коферментов, сера принимает участие в аэробной фазе дыхания и синтезе жиров. Серосодержащая пара цистин-цистеин, а также присутствующий в любой клетке олигопептид-глутатион, имеющий группу SH , участвуют в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растительном организме. Коферменты НАД, НАДФ, ФАД, присоединяясь через сульфгидрильную группу к белкам, выполняющим роль ферментов, участвуют в процессах, связанных с отщеплением и передачей ионов водорода. Через тиофильную связь ($\text{C}\sim\text{S}\text{--}\text{C}$) в коферменте тиаминпирофосфате сера усиливает процесс дыхания. Входя в состав ферредоксинов, этот элемент контролирует обмен негеминового железа. Наконец, сера в виде аниона SO_4^{2-} участвует в общих процессах ионного равновесия в клетках растений. Эти редокс-системы могут связывать или освобождать атомы водорода в зависимости от преобладающих условий в клетке.

Недостаточное снабжение растений серой тормозит синтез серосодержащих аминокислот и белков, снижает фотосинтез и подавляет рост растений, особенно надземных органов. При серном голодании у растений нарушается формирование хлоропластов и возможен их распад. Внешнее проявление серного голодания напоминает недостаток азота: листья растений становятся светло-зелеными, а позднее желтыми, частично с красным оттенком. Однако, если недостаток азота сначала проявляется на старых листьях, то признаки серного голодания – на молодых; стебли становятся тонкими, одревесневшими, жесткими и хрупкими. Это показывает, что отток серы из более старых листьев не может компенсировать недостаточное снабжение ею растений через корни. Поскольку сера входит в состав витамина B_1 (тиамина), сильно влияющего на рост корней, то при ее недостатке быстро снижается интенсивность роста корней.

Кальций. Содержание кальция в растениях составляет 0,05–0,5 % в расчете на сухую массу. В растениях этот элемент находится как в свободном, так и в адсорбированном состоянии в виде различных солей, которые сосредото-

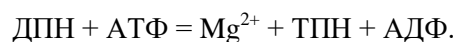
чиваются в вакуолях или в клеточных стенках в форме фосфатов кальция, карбонатов и особенно оксалата кальция. Источником для питания растений служат карбонаты, сульфаты, хлориды, нитраты и другие неорганические соли кальция, а также гумат кальция. Поступает он в растение в виде катиона Ca^{2+} с транспирационным потоком. Этот элемент необходим растению уже в фазе прорастания семян. Роль кальция в развитии растения многосторонняя. Он входит в состав ядра, митохондрий, рибосом, пластид, цитоплазмы, клеточной стенки и других органоидов и включений клетки и необходим для поддержания их структуры. Кальций входит в состав мембран, соединяя отрицательно заряженные "головки" фосфо- и гликолипидных молекул с отрицательно заряженными радикалами белковых глобул. Так, кальций стабилизирует структуру мембран, поэтому его присутствие необходимо для их нормального функционирования. При выращивании растений в среде с недостатком кальция увеличивается проницаемость мембран, и они перестают быть барьером, препятствующим свободной диффузии ионов. Кальций является также составной частью пектиновых веществ, соединяющих стенки клеток друг с другом, без него не образуется плазмалемма. Кальций усиливает обмен веществ, играет важную роль в фотосинтезе и передвижении углеводов, в процессах усвоения азота растениями, ускоряет распад запасных белков семени при прорастании. Он регулирует кислотно-щелочное равновесие в клетке, изменяет коллоидное состояние цитоплазмы, увеличивая вязкость и снижая оводненность. Кальций принимает участие в поддержании структуры хромосом, являясь связующим звеном между ДНК и белком. Являясь вторичным мессенджером, кальций участвует в передаче сигнала, полученного клеткой, к геному. В результате активируются многие ферменты – дегидрогеназы, амилазы, фосфатазы, киназы, липазы. Его действие основано на участии в образовании четвертичной структуры белка, создании мостиков в фермент-субстратных комплексах, влиянии на состояние аллостерических центров. Регулирующее влияние кальция на обмен веществ зависит также от его взаимодействия с кальциевым внутриклеточным рецептором – белком кальмодулином. Комплекс кальций-кальмодулин активирует протеинкиназы, транспортную Са-АТФ-азу, АТФ-азу актомиозина, фосфодиэстеразу и другие ферментные системы клетки. С участием кальцийсодержащего фермента – кальмодулина регулируется концентрация внутриклеточного кальция. Кроме того, комплекс Са-кальмодулин контролирует сборку микротрубочек акриноматинового веретена, образование цитоскелета клетки и формирование клеточной стенки. Влиянием ионов кальция на сборку-разборку элементов цитоскелета объясняется его необходимостью для нормального течения митоза. Кальций участвует в слиянии везикул аппарата Гольджи при формировании фрагмопласта* и новой клеточной стенки. За кальцием признают функцию обезвреживания в растениях щавелевой кислоты. Велика роль этого элемента как антагониста других катионов. Задерживая избыточное поступление в клетку одних элементов, он в то же время стимулирует поглощение других.

Кальцию принадлежит важная роль в восстановлении и поддержании уравновешенности почвенного раствора, чем обеспечивается нормальное по-

* Фрагмопласт – характерная фигура (структура) в экваториальной плоскости делящейся клетки, образуемая остатками соединительных тканей митотического веретена между двумя ядрами в телофазе митоза. Является основой формирования клеточной стенки между дочерними клетками.

ступление элементов минерального питания в корневую систему. При недостатке кальция, в первую очередь, страдают молодые меристематические ткани и корневая система растения. У делящихся клеток не образуются новые клеточные стенки и в результате возникают многоядерные клетки. Недостаток кальция приводит к набуханию пектиновых веществ, что вызывает ослизнение клеточных стенок и разрушение клеток. В результате корни, листья и отдельные участки стебля загнивают и отмирают. У растений, испытывающих кальциевое голодание, снижается устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды. Недостаток этого элемента при возделывании сельскохозяйственных культур чаще может наблюдаться на солонцеватых почвах и почвах легкого гранулометрического состава.

Магний. Общее содержание магния в растениях в расчете на сухую массу составляет 0,05–0,5 %. Содержится в клетке в виде свободных или адсорбированных ионов, а также в хелатной форме. Всего в прочносвязанном состоянии может находиться до 50 % элемента. Роль магния в питании растений определяется, в первую очередь, его присутствием в составе молекулы хлорофилла в количестве около 3 % от массы. Магний находится также в составе основного фосфорсодержащего запасного органического соединения – фитина, обнаружен в пектиновых веществах. Немного магния содержится в клеточном соке. Он является структурообразователем, входя в состав оргanelл клеток и клеточных стенок. Магний поддерживает структуру мембран, соединяя, как и ионы кальция, отрицательно заряженные белковые молекулы с "головками" мембранных липидов. Этот элемент выполняет важную функциональную роль в составе большого числа ферментов. Магний активирует рибулезодифосфат карбоксилазу, фосфокиназу, АТФ-азу, енолазу, ферменты цикла Кребса, пентозофосфатного пути, спиртового и молочного брожения и целый ряд других ферментативных систем. Он также активирует ДНК- и РНК-полимеразы и процессы транспорта электронов при фосфорилировании. Как основной атом молекулы хлорофилла, магний играет решающую роль в фотосинтезе и не может быть заменен никаким другим элементом. Он необходим для синтеза каротиноидов и протопорфирина IX – непосредственного предшественника хлорофилла. Этот элемент принимает участие в реакции фотохимического разложения воды при фотосинтезе с выделением кислорода и переводом водорода к акцептору – трифосфопиридиннуклеотиду (ТПН), который образуется при участии аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Магний катализирует образование АТФ, способствуя сохранению энергии, и активизирует киназу дифосфопиридиннуклеотида (ДПН), участвуя, таким образом, в образовании акцептора водорода:



Помимо всего этого, магний регулирует перенос поглощенной энергии между фотосистемами I и II. Этот элемент участвует в создании необходимого ионного равновесия в цитоплазме, обеспечивающего функционирование коллоидов клетки. Магний – необходимый элемент в процессах трансформации фосфорных соединений, тесно связанных с дыханием и энергетическими преобразованиями. Он поддерживает структуру рибосом, связывая РНК и белок. Большая и малая субъединицы рибосом ассоциируются вместе лишь в присутствии магния, поэтому синтез белка не идет при недостатке магния, а тем более в его отсутствие. Без магния не могут образовываться и функционировать митохондрии. При его недостатке накапливаются моносахариды,

тормозится превращение их в полисахариды, слабо функционирует аппарат синтеза белка, рибосомы диссоциируют на субъединицы, нарушается процесс формирования пластид. При недостатке магния увеличивается активность пероксидазы, усиливаются процессы окисления в растениях, а содержание аскорбиновой кислоты и инвертного сахара снижаются.

Магниевое голодание приводит к изменению окраски листьев: она становится более светлой, даже желтоватой, при этом жилки остаются зелеными, а поверхность листа между ними светлеет. Постепенно пожелтевшая часть листа буреет и ткань отмирает. Признаки магниевое голодания проявляются прежде всего на старых листьях растений. Острый дефицит магния вызывает "мраморность" листьев, их скручивание и пожелтение. Недостаток этого элемента, как правило, может наблюдаться на солонцеватых почвах, переудобренных калием или аммонийными формами азота, а также почвах легкого гранулометрического состава, которые слабо удерживают соли магния и легче теряют их с фильтрационными водами. Поглощение магния растениями зависит и от концентрации иона Ca^{2+} в почвенном растворе. Растения могут страдать от недостатка магния даже при высоком содержании его в почве, если отношение $\text{Ca}:\text{Mg}$ в почвенном растворе больше 11. При недостатке магния он накапливается в основном в репродуктивных органах. Дефицит магния усиливает окислительные процессы в растениях, что обуславливает меньшее образование женских цветков у раздельнополых растений. У растений, испытывающих недостаток магния, задерживается цветение, а сами цветки менее интенсивно окрашены.

Железо. Содержание железа в растениях составляет 0,01–0,08 % сухого вещества. Поступает оно в растение в виде ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} , а также в незначительных количествах в форме молекул хелатных соединений. Лишь небольшая часть поглощенных растением ионов железа остается в растворенной или связанной форме. Основное количество этого элемента сосредотачивается в белке хлоропластов. В растительном организме участие железа в процессах обмена веществ чрезвычайно обширно и отражается на активности и характере метаболизма потребляемых растением элементов питания. Железо входит в состав цитохромов – переносчиков электронов, участвующих в процессе дыхания, а также окислительных ферментов цитохромоксидазы, пероксидазы и каталазы. Во всех этих ферментах железо присутствует в протетической группе в виде гема, в котором центральный атом железа связан с четырьмя пиррольными кольцами, соединенными в большую циклическую структуру. В таких ферментах железо функционирует благодаря своей способности обратимо окисляться и восстанавливаться ($\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$). Аналогичным образом может действовать и негеминное железо. Железо является составной частью ферредоксина – соединения, функционирующего в качестве переносчика электронов в процессе фотосинтеза. В отличие от цитохромов, ферредоксин содержит железо, лабильно связанное с серой по типу сульфида. С помощью ферредоксина осуществляется фосфорилирование, при котором энергия света превращается в химическую, накапливаемую в АТФ и НАДФН. Железо является составной частью ферментов, катализирующих синтез предшественников хлорофилла – протопорфиринов, аминолевулиновой кислоты. Предполагают, что железо участвует в образовании белков хлоропластов. Оно входит в состав леггемоглобина – железосодержащего белка корневых клубеньков бобовых растений, фиксирующих атмосферный азот. Негеминное железо обнаружено в составе активного центра фермента нитрогеназы, катализирующего азотфиксацию в бактероидах корневых клубеньков.

Растения могут включать железо в негеминовой форме в запасные вещества. В частности, оно обнаружено в ферритине, который находится в хлоропластах и представляет собой железосодержащий белок. Основное назначение ферритина – снабжение клетки железом.

Недостаток железа тормозит два важнейших процесса энергообмена растения – фотосинтез и дыхание, и вызывает глубокий хлороз развивающихся листьев. При остром дефиците железа листья могут стать белыми. Дефицит железа является проблемой для многих сельскохозяйственных культур, поскольку большая часть окультуренных почв отличается низким содержанием доступных для роста растений форм этого элемента. В то же время растения могут страдать от избытка железа в питательной среде. На почве, обогащенной растворимыми формами железа, чрезмерное его поглощение может привести к токсическому воздействию на растения. Наиболее вероятно это имеет место на кислых сульфатных, пойменных почвах, сильнокислых почвах – ультисолях, оксисолях. Критический уровень железной недостаточности, оптимум и уровень токсической концентрации для большинства растений находится соответственно в пределах значений: 10–115, 30–250 и 250–500 мг/кг сухой массы.

Натрий. Среднее содержание натрия в растениях 0,02 % сухой массы, а обычный диапазон концентраций его колеблется от 0,008 до 2,5 %. В растения натрий поступает в виде катиона Na^+ . Для большого числа растений отмечено весьма неравномерное распределение этого элемента по отдельным тканям и органам. Как правило, избыток поглощенного натрия аккумулируется в корнях, тогда как в побегах, особенно в листьях и генеративных органах, содержание его длительное время сохраняется практически неизменным. Натрия много в растениях-галофитах, растущих на засоленных почвах. У этих растений он играет важную роль в поддержании кислотно-щелочного равновесия, регулирует осмотическое давление и влияет на содержание воды в тканях. Натрий выполняет роль кофактора в процессах фотофосфорилирования, тем самым способствует повышению интенсивности и чистой продуктивности фотосинтеза. Положительное влияние натрия на жизнедеятельность растений в основном зависит от их биологических особенностей и обеспеченности калием. Различают четыре группы растений: 1) растения, требующие натрия при недостатке калия в почвенном растворе (люцерна, ячмень, овес, томаты, капуста брюссельская, морковь); 2) растения, испытывающие малую потребность в натрии при недостатке калия в почвенном растворе (кукуруза, клевер красный, латук, лук, картофель); 3) растения, испытывающие небольшую потребность в натрии при достаточном количестве калия (горох, пшеница, крестоцветные); 4) растения, сильно нуждающиеся в натрии при достаточном количестве калия (сельдерей, свекла, турнепс).

Предполагается существование в растительных клетках мембранной Na, K-ATP-азы и участие натрия в работе ионных насосов. У натриефильных растений этот элемент усиливает отток углеводов из листьев в генеративные органы. При повышенном содержании в питательной среде нитратов растения испытывают большую потребность в натрии. При его недостатке в растениях накапливаются нитраты.

Натрий оказывает положительное влияние на активность фермента нитратредуктазы. Недостаток этого элемента ограничивает фиксацию атмосферного азота свободноживущими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями бобовых культур. В незначительных концентрациях он может оказать положительное воздействие на почву. Например, натрий может

вытеснить из почвенного поглощающего комплекса калий и другие необходимые элементы и делать их более доступными для питания растений, тем самым оказывая на растения опосредованное положительное влияние. Однако излишнее количество натрия в почве приводит к образованию вредной для растений соды и ухудшению физических свойств почв.

Хлор. Среднее содержание хлора в растениях составляет 0,01 % сухой массы. Источником доступного растениям хлора в почве могут быть осадки, морские брызги, почвенные минералы, удобрения и растительные остатки. Этот элемент поступает в растение с транспирационным током в виде ионов и сосредотачивается, главным образом, в клеточном соке. Хлор в организме растений не встречается в каких-либо прочных соединениях, а находится в ионной форме, и только небольшая часть этого элемента находится в непрочной адсорбированной связи с протоплазмой клетки. Хлор положительно влияет на водность тканей и набухаемость протоплазмы клеток. Перемещаясь вместе с калием, он поддерживает в клетках электронейтральность. Хлор участвует в регуляции тургора в тех случаях, когда он доступен, но не является абсолютно необходимым для этого процесса. В процессе фотосинтеза хлор воздействует на активность ферментов, причастных к фотолизу. Он участвует в энергетическом обмене у растений, активизируя как окислительное фосфорилирование, так и фотофосфорилирование. Хлор необходим для активации и выделения кислорода в процессе фотосинтеза изолированными хлоропластами. В пользу участия этого элемента в фотосинтезе свидетельствует также факт его необходимости при автотрофном питании хлореллы и почти полной ненужности при гетеротрофном. Хлор положительно влияет на поглощение кислорода корнями, что важно для нормального хода процессов окисления углеводов при дыхании. Имеются данные в пользу причастности хлора к азотному обмену растений; под влиянием хлорид-анионов ускоряется включение минеральных форм азота в органические соединения и биосинтез аминокислот.

Признаком дефицита хлора является хлороз листьев, но он заметен только в строго контролируемых опытных условиях с водными культурами. Капуста, свекла, морковь, салат, помидоры не могут нормально развиваться при полном исключении хлора из питания. Однако в практике чаще приходится сталкиваться с избытком хлора, особенно в засушливых условиях. К хлорофобным растениям, отрицательно реагирующим на повышение концентрации в почвенном растворе хлора, относятся земляника, картофель, крыжовник, помидоры, смородина и фасоль. При его избытке наблюдается хлорный токсикоз, который у чувствительных к этому элементу культур вызывает ожог листьев. Избыток хлора нарушает обмен веществ в растениях, в частности, ухудшает углеводный обмен, тормозя превращение простых углеводов в ди- и полисахариды, о чем свидетельствуют повышение содержания моносахаридов и низкий уровень сахарозы в листьях. Повышенное поступление хлора в растение снижает содержание белкового азота в листьях. Его избыток, наряду с угнетением синтеза белков, тормозит и образование аминокислот. В условиях повышенной концентрации хлора в питательной среде у растений возрастает интенсивность дыхания, что отрицательно сказывается на их жизнедеятельности, поскольку способствует большему расходу органического вещества при пониженном уровне фотосинтеза.

Алюминий. Среднее содержание алюминия в растениях 0,02 % сухой массы. Поступает он в растения в виде ионов. Поглощение алюминия из почвенного раствора корнями проходит в два этапа: в начале происходит накопле-

ние ионов алюминия в свободном пространстве корня, затем – внутри клеток. Поступая с свободное пространство, алюминий активно взаимодействует с клеточными стенками, поверхностью протопластов, осаждаются в виде гидроокиси или фосфатов. Часть ионов, преодолев мембранный барьер, поступает внутрь клетки. Это приводит к их взаимодействию непосредственно с протоплазмой, накоплению в ядрах и митохондриях.

Алюминий – необходимый элемент для растений, нужный в очень малых количествах, выше которых он ядовит. В пользу необходимости его говорят следующие факты. Алюминий, хотя и не входит в состав аскорбиноксидазы, является специфическим активатором этого фермента. Обнаружено, что этот элемент – специфический активатор сукцинатдегидрогеназы и пектинполигалактуроназы, и наряду с медью и железом активирует деятельность пиридоксальных ферментов. Алюминий обнаружен в высокоочищенных препаратах РНК, ДНК и в фитохроме. Это указывает на возможность участия его в сохранении необходимой конфигурации молекул нуклеиновых кислот. Концентрации алюминия в почвенном растворе порядка $1 \cdot 10^{-4}$ М стимулируют рост корней и надземных органов, оказывают положительное влияние на размеры ассимиляционного аппарата и повышают интенсивность фотосинтеза. Алюминий, способствуя увеличению числа и размеров клубеньков, оказывает положительное влияние на симбиотическую азотфиксацию бобовыми культурами. Особенно велико его значение в обмене веществ у гидрофитов. У представителей этой группы растений алюминий стимулирует завязывание семян. При отсутствии этого элемента в питательной среде поры папоротника не способны образовывать нормальный гаметофит. Больше всего в нем нуждаются растения – аккумуляторы алюминия. При недостатке алюминия у отдельных растений наблюдается хлороз листьев. Это особенно ярко проявляется у чая. Однако высокие концентрации этого элемента в питательной среде токсичны для всех без исключения растений. При поглощении растениями больших количеств алюминия он связывается с фосфором, что в итоге приводит к фосфорному голоданию.

4.3. Микроэлементы

Бор. Содержание бора в растениях составляет 1–20 мг/кг сухого вещества. Поступает он в растения в форме аниона. Поглощение бора возможно как в результате пассивного диффузного поступления в корни, так и под метаболическим контролем. Перемещение его из корней в надземные органы совершается исключительно пассивно вместе с транспирационным потоком.

Бор, благодаря особому строению электронной оболочки атома, может легко вступать в соединения почти со всеми химическими элементами, вследствие чего он участвует в образовании и поддержании структуры межмолекулярных и надмолекулярных комплексов биополимеров, прежде всего, белков, нуклеиновых кислот, липидов и полисахаридов. Комплексы перечисленных биополимеров лежат в основе важнейших компонентов клетки – рибосом, мембранного аппарата, хроматина и клеточных стенок. О значении бора в формировании клеточных стенок растений свидетельствует содержание ксиланы и арабинозы – составных компонентов гемицеллюлоз в проводящей системе, только у растений получивших дополнительно бор. Бор в растениях образует комплексы с такими органическими соединениями, как *d*-фруктоза, α -галактоза, α - и *d*-глюкоза, глицерин, α -маннит, пиридоксин и салициловая кислота. Этот элемент легко взаимодействует с метиловым спиртом – одним из компонентов пектиновых веществ.

Функции бора в растительном организме, прежде всего, связаны с метаболизмом углеводов; переносом сахаров через мембраны; синтезом ДНК, РНК и фитогормонов; образованием клеточных стенок и развитием тканей. Образование комплексов бора с углеводами влияет на направление расположения мицелл целлюлозы в клеточной стенке, что увеличивает его эластичность. Его роль особенно существенна в переносе сахаров через мембраны, поскольку боратнополисахаридный комплекс более подвижен, нежели полярные молекулы сахаров. Значительное влияние бор оказывает на фотосинтетическую деятельность растений: способствует увеличению количества и размеров хлоропластов, содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях, интенсивности фотосинтеза в утренние и вечерние часы и снижению полуденной ее депрессии, что связано с повышением водоудерживающей силы клеток. Бор принимает участие в процессах оплодотворения и плодоношения: необходим для формирования жизнеспособной пыльцы и способствует быстрому ее прорастанию и росту пыльцевых трубок. Важная роль этому элементу отводится в фенольном обмене. Бор, как хороший комплексообразователь, связывает фенол в нетоксичное соединение. Этот элемент не входит в состав ферментов, но благодаря способности образовывать комплексы с полигидроксильными соединениями, влияет на скорость и направленность ферментативных реакций. В частности, бор воздействует на активность каталазы, инвертазы, оксидазы индолилуксусной кислоты, пероксидазы, полифенолоксидазы, пектазы и глюкозидазы. Бор стимулирует образование клубеньков на корнях бобовых растений. Под его воздействием повышается фиксация атмосферного азота этими растениями.

При недостатке бора нарушаются синтез нуклеиновых кислот, а также образование, превращение и транспорт углеводов, формирование репродуктивных органов, происходят гибель меристематических клеток и дегградация проводящей системы растений. Бор не может реутилизироваться, так как он не поступает из старых органов растения в молодые.

Характерным признаком борного голодания является появление черных некротических пятен на молодых листьях и верхушечных почках. У растений, испытывающих недостаток бора, накапливаются кофейная и хлорогеновая кислоты, ингибирующие рост; клетки плохо дифференцируются, нарушается развитие проводящей системы, листья становятся тонкими, цветки не образуются. В ситовидных трубках коагулирует цитоплазма, поэтому отток сахаров по флоэме резко тормозится, и они накапливаются в листьях. При недостатке бора искривляются и сжимаются сосуды, что нарушает транспорт воды и элементов минерального питания в клетки роста. Недостаток углеводов, воды и минеральных солей вызывает отмирание точек роста стеблей и корней. У растений, испытывающих недостаток бора, корни плохо снабжаются кислородом, снижается иммунитет.

Симптомы борного голодания для отдельных сельскохозяйственных культур следующие: сахарная и кормовая свекла заболевают гнилью сердечка, столовая свекла – внутренней черной пятнистостью, у льна отмирает точка роста вследствие поражения его бактериозом, у подсолнечника наблюдается побурение верхушки и прекращение роста молодых листьев, у картофеля отмечается повышенная заболеваемость клубней поршой, у табака наблюдается усыхание верхушки, у плодовых культур под кожицей мелких плодов проявляются пробковые пятна, у косточковых плоды поражаются гуммозом и опробковением, у виноградных саженцев наблюдается некроз сосудов древесины. Эти болезни особенно проявляются в жаркие засушливые годы.

Кобальт. Содержание кобальта в растениях составляет 0,02–12 мг/кг сухой массы. Он поступает в растения в форме катиона, хелатных соединений и витамина В₁₂. В растительном организме 50 % кобальта находится в ионной форме, 20 % – в форме кобамидных соединений и в составе витамина В₁₂, 30 % приходится на неидентифицированные высокостабильные органические соединения. Кобальт в органическом комплексе – витамине В₁₂ – в 100000 раз активнее неорганического кобальта.

Физиологическая роль кобальта в растениях, в первую очередь, связана с его участием в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в клетке. Кобальт участвует в реакциях изомеризации. В частности, он катализирует превращение глутамина в метиласпарагиновую кислоту и метилмалонил-коэнзим. Кроме того, кобамидные коэнзимы принимают участие в миграции водородных радикалов в пределах пиррольных ядер и в реакциях внутримолекулярного переноса водорода при превращении диолов в альдегиды. В форме катиона кобальт катализирует окисление каротина, органических и ненасыщенных жирных кислот. Он участвует в таких ферментативных реакциях как карбоксилирование и декарбоксилирование, гидролиз пептидных связей и фосфорных эфиров, перенос фосфорных групп. Кобальт повышает активность ферментов фосфатазы, аргиназы, лецитиназы, аминоксидазы, нитратредуктазы, гидрогеназы, аскорбиноксидазы, каталазы и пероксидазы. Аргиназа, аминоксидазы, лецитиназа и нитратредуктаза относятся к ферментам азотного обмена, что предопределяет влияние кобальта на этот важнейший процесс метаболизма. Изменяя активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы и щелочной фосфатазы, он в определенной степени регулирует интенсивность дыхания растений. Кобальт, влияя на активность гидролитических ферментов протеазы и липазы, стимулирует физиолого-биохимические процессы в прорастающих семенах.

Установлено, что кобальт в определенной степени оказывает стимулирующее действие на ДНК, участвуя в процессах спирализации и деспирализации ее молекул. Одновременно этот элемент влияет на разрушение перекисей в процессе их формирования, активирует синтез рибонуклеиновых кислот в растениях и участвует в изменении проницаемости плазмалеммы, тем самым способствуя избирательному поглощению корневой системой ионов из внешней среды. Кобальт способствует насыщению листа хлоропластами. Он положительно влияет на содержание хлорофилла и повышает его устойчивость. Действие кобальта на накопление хлорофилла обусловлено положительным его влиянием на устойчивость хлорофилл-белково-липидного комплекса. Увеличивая количество хлорофилла и его фотосинтетическую активность, кобальт повышает в целом интенсивность фотосинтеза. Он способствует более интенсивному оттоку ассимилятов из листьев и проводящей системы в стебли, корни и репродуктивные органы. Кобальт оказывает положительное влияние на рост надземных органов и корневой системы растения. При этом он способствует более раннему цветению и сокращению продолжительности вегетационного периода растений. В основе механизма влияния кобальта на рост и развитие растений лежит его связь с гормональным балансом клетки, преимущественно в звене ауксин-этилен.

Кобальт способствует более интенсивному поглощению растениями азота, фосфора, калия и марганца. Необходимость кобальта для азотфиксации связана с положительным влиянием витамина В₁₂ на количество и качество леггемоглобина, содержащегося в клубеньках бобовых растений. С помощью

кобамидных коферментов в клубеньках активизируется биосинтез белковых соединений вообще и синтез азотфиксирующего фермента нитрогеназы в частности, что в итоге усиливает процесс азотфиксации. Усиление азотфиксации кобальтом может происходить и путем его положительного влияния на гидрогеназу. Она, как известно, является ферментом, осуществляющим активацию водорода. Кобальт играет важную роль в энергетическом обмене, под его влиянием возрастает количество АТФ.

При недостатке кобальта ослабляются физиолого-биохимические процессы и рост растений; снижается продуктивность и ухудшается качество урожая. Основные симптомы его недостатка у растений: слабый рост, межжилковый хлороз листьев, высокая стерильность цветков и низкая продуктивность растений. Симптомы недостатка кобальта у растений сходны с признаками азотного голодания. Внешние признаки кобальтовой недостаточности четко проявляются в основном у бобовых растений. При избытке кобальта в питательной среде рост корневой системы резко ограничивается, а листья становятся хлоротичными.

Марганец. Среднее содержание марганца в растениях составляет 0,001 % или 10 мг/кг сухой массы, а обычный диапазон концентраций его колеблется от 2 до 400 мг/кг. Марганец поступает в растения в форме катиона и аниона манганатов. Его передвижение по проводящим путям является активным процессом, так как по ксилемным элементам передвигается меньше марганца, нежели по флоэмным. В растениях этот элемент находится главным образом в виде свободных катионов, однако, возможны и его комплексные соединения с органическими молекулами.

Физиологическая роль марганца в жизни растений определяется в значительной степени его участием в деятельности ферментов. Этот элемент входит в состав активных групп ряда ферментов, катализирующих различные звенья обменных реакций в клетках растений, где он выполняет роль связующего звена между коферментом, пирофосфатом и субстратом. Известно около 25 металлоферментных комплексов, активируемых марганцем. Этот элемент повышает активность окислительных ферментов аскорбино-ксидазы и пероксидазы; играет важную роль в активировании реакций цикла Кребса; участвует в реакциях дегидрогенизации и декарбоксилирования. Фосфорилирование сахаров и их последующее расщепление до пировиноградной кислоты также не обходится без его участия. Велико значение марганца и для деятельности фермента малатдегидрогеназы, осуществляющего окисление яблочной кислоты до щавелевоуксусной, катализирующей выделение диоксида углерода из щавелевоуксусной кислоты с образованием пировиноградной. Марганец является также активатором декарбоксилазы щавелевоянтарной кислоты с образованием α -кетоглутаровой. Значительна потребность в нем дегидрогеназы изолимонной кислоты, участвующей в превращении изолимонной кислоты в щавелевоянтарную. К ферментам, зависящим в своем действии от марганца, относится декарбоксилаза пировиноградной кислоты, которая катализирует реакцию образования ацетальдегида при анаэробном дыхании. Марганец принимает участие в реакциях конденсации, в частности, превращении щавелевоуксусной кислоты в лимонную, изолимонной в щавелевоянтарную, α -кетоглутаровой в янтарную. Нуждаются в марганце и ферменты гликолитической фазы дыхания. Он непосредственно входит в состав аргиназы, фосфотрансферазы и гидроксилламинредуктазы.

Марганец является регулятором активности железа и способствует переходу закисного железа в окисное и обратно. Способствуя реоксидации активного двухвалентного железа в трехвалентное, марганец тем самым предохра-

няет клетку от отравления. Он принимает участие в процессе восстановления нитратов до аммиака. Этот элемент способен регулировать направленность окислительно-восстановительных процессов в растениях в зависимости от условий азотного питания: при аммиачном питании он действует как окислитель, при нитратном – как восстановитель. Марганец необходим для фотолиза воды и восстановлению CO_2 при фотосинтезе. Этот элемент играет специфическую роль в поддержании структуры хлоропластов: в его отсутствие хлорофилл быстро разрушается на свету. Ионы марганца принимают активное участие в окислении продуктов карбоновых кислот и, как следствие, в процессе дыхания растений. Марганец усиливает гидролитические процессы, в результате чего возрастает количество аминокислот, способствует оттоку ассимилятов из листьев к корням, стеблям и репродуктивным органам. Наличие марганца является необходимым условием для образования аскорбиновой кислоты. Он выполняет ключевую функцию в биосинтезе и поддержании структуры ДНК в ядре, причастен и к биосинтезу РНК. Он активизирует влияние индолилуксусной кислоты на ростовые процессы за счет ослабления ингибирующего действия яблочной и янтарной кислот. Марганец, усиливая синтез аминокислот, полипептидов, белков и аскорбиновой кислоты, оказывает существенное влияние на азотный обмен растения. Данный элемент принимает участие в процессах как фотосинтетического фосфорилирования в хлоропластах, так и в окислительном фосфорилировании в митохондриях, являющихся одним из источников энергии для различных биосинтезов.

Определенное влияние марганец оказывает на поглощение и включение в обмен веществ элементов минерального питания. При исключении его из питательной среды в растениях возрастает содержание других элементов минерального питания, нарушается их соотношение. Характерный симптом марганцевого голодания растений – точечный хлороз листьев: между жилками появляются желтые пятна, позже в этих местах ткани отмирают. Избыточное поступление марганца также может вызвать хлороз старых листьев, у которых вокруг жилок образуются зеленовато-коричневые мелкие пятна.

Медь. Содержание меди в растениях составляет 2–20 мг/кг сухого вещества. Этот элемент поступает в растения в форме катиона или хелатных соединений. В растительном организме она присутствует в виде ионов и в составе комплексных органических соединений, доля последних составляет примерно $\frac{2}{3}$ общего количества меди, содержащегося в растении. В организме растений медь, чаще всего, связана с митохондриями и играет существенную роль в биохимических процессах. Этот элемент непосредственно входит в состав фермента лакказы, катализирующего окисление гидрохинона и его производных. Своё название этот фермент получил вследствие того, что катализирует окисление ортодифенола лаккола, найденного в большом количестве в соке лаковых деревьев. Медь входит в состав ферментов аскорбиноксидазы, катализирующей окисление аскорбиновой кислоты, и полифенолоксидазы – фермента участвующего в присоединении электрона к фенолам. Аскорбиноксидаза, полифенолоксидаза и лакказа осуществляют реакции окисления путем переноса электронов с субстрата к молекулярному кислороду, являющемуся акцептором электронов. Все три фермента участвуют в темновых реакциях фотосинтеза и реакциях дыхания, что определяет важное значение этих катализаторов для биосинтетических функций растения в целом. Физиологическая роль меди в значительной степени определяется также ее входением в состав урикооксидазы – фермента, производящего окисление мочевой кислоты. К медьсодержащим ферментам относятся и тирозина-

за – фермент, осуществляющий синтез пигмента меланина за счет окисления аминокислоты тирозина. Отсутствие данного фермента вызывает альбинизм – отсутствие у растений зеленой окраски. Помимо всего этого, медь входит и в состав низкомолекулярного белка пластоцианина. Последний осуществляет перенос электронов между ФС II и ФС I. В связи с этим медь имеет большое значение для фотосинтеза. Кроме того, медь повышает активность ферментов каталазы, нитратредуктазы, пероксидазы, карбоангидразы, гексокиназы, альдолазы, фосфорилазы и фосфоглюкомутазы. Благодаря способности меди переходить из двухвалентного состояния в одновалентное, она служит как донором, так и акцептором электронов и тем самым выполняет функции окислителя и восстановителя.

Около 75 % меди в листьях растений локализовано в хлоропластах. При этом более 20 % общего ее содержания в хлоропластах сосредоточено во фракции полярных липидов, то есть в веществах, принимающих участие в окислительно-восстановительных реакциях фотосинтеза. Медь положительно влияет на содержание в листьях хлорофиллов и каротиноидов. Следовательно, участвуя в построении и функционировании фотосинтетического аппарата и в первичных фотохимических реакциях, она способствует повышению интенсивности фотосинтеза.

Значительная роль принадлежит меди в азотном обмене растений. Она участвует в окислительном дезаминировании аминокислот. Доказана ее причастность к первичным звеньям усвоения минерального азота через регулирование деятельности ферментов нитрит- и нитратредуктазы, а также к биосинтезу аминокислот и синтезу белков через участие в нуклеиновом обмене.

Установлена роль меди и в фосфорном обмене. Этот элемент оказывает положительное действие на накопление фосфорных эфиров сахаров в растениях на начальных фазах их развития. Это является следствием положительного влияния микроэлемента на активность фосфорилазы. Медь способствует более интенсивному включению минерального фосфора в органические соединения и синтезу фосфолипидов и нуклеотидов. Медь, изменяя активность и направленность ферментов фосфорного и углеводного обмена, оказывает положительное влияние на биосинтез углеводов и их передвижение; усиливая интенсивность дыхания и фотосинтеза растений, активизирует поступление питательных элементов через корневую систему. В частности, имеются данные о положительном влиянии ее на поступление азота, фосфора и калия. Особая роль принадлежит меди в фиксации атмосферного азота. Об участии микроэлемента в этом процессе свидетельствует ее положительное влияние на синтез леггемоглобина и содержание аспарагина в растениях. Последний, как известно, является тем соединением, в форме которого первоначально связывается фиксированный азот.

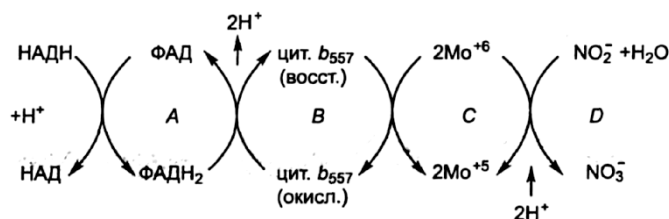
Необходимо отметить также участие меди в гормональной регуляции в растении. Медьсодержащий фермент полифенолоксидаза регулирует содержание и активность в растениях ауксинов и ингибиторов роста фенольной природы. Это лежит в основе способности меди повышать устойчивость растений к полеганию и неблагоприятным условиям среды.

При дефиците меди задерживается образование углеводов и белков и происходит торможение роста растений. Общий симптом дефицита – побеление самых молодых листьев и скручивание их с последующим увяданием и отмиранием. У зерновых культур наблюдается уродливость развития соцветия. Недостаток ее у плодовых деревьев проявляется в виде неравномерных некротических пятен на верхушечных листьях растущих побегов. У citrusовых культур при медном голодании на плодах появляются темно-коричневые клейкие выделения. Часто клейкие натёки бывают и у молодых ветвей между корой и древесиной.

Растения также чувствительны к высоким концентрациям меди в питательной среде. Избыток элемента тормозит усвоение растениями фосфора и биосинтез его органических соединений, отрицательно влияет на фотохимическую активность хлоропластов и ослабляет интенсивность фотосинтеза, что особенно заметно в условиях высокой освещенности. При избыточном поступлении меди в растении нарушается механизм избирательного поглощения корневой системой ионов.

Молибден. Содержание молибдена в растениях составляет 0,2–2 мг/кг сухого вещества. Он поступает в растения в виде аниона молибдата или хелатных соединений и локализуется преимущественно во флоэме и васкулярной паренхиме. Его поглощение и транспорт являются активными энергозависимыми процессами, осуществляемыми против градиента концентрации. В отличие от других микроэлементов, молибден может накапливаться в растениях в довольно значительных количествах, не оказывая токсического действия. Молибден очень слабо реутилизируется. В растениях выделено три молибденсодержащих фермента: нитратредуктаза, ксантиндегидрогеназа и формиатдегидрогеназа.

Нитратредуктаза высших растений — это флавопротеид с молекулярной массой около 200–300 кДа, содержащий гем и молибден. Она представляет собой димер, т. е. состоит из двух полипептидных цепей (субъединиц), последовательно переносящих электрон от НАДН (или НАДФН) к NO_3^- . Роль молибдена в этом процессе иллюстрирует следующая схема:



Первая субъединица содержит в качестве простетической группы ФАД и катализирует перенос электрона от НАДН к гему, т. е. реакции *A* и *B*. Вторая субъединица, содержащая в качестве кофактора молибден, участвует в связывании нитрата и переносе на него электрона от гема, т. е. она катализирует реакции *C* и *D*. Молибден при этом изменяет свою валентность.

Помимо названных ферментов, молибден входит в состав нитрогеназы, принимающей активное участие в восстановлении молекулярного азота микроорганизмами. Кроме того, этот элемент оказывает положительное влияние на активность ферментов малатдегидрогеназы и сукцинатдегидрогеназы. Биохимические функции молибдена связаны с восстановлением нитратов до аммиака и биосинтезом аминокислот, фиксацией молекулярного азота свободноживущими микроорганизмами и клубеньковыми бактериями в симбиозе с бобовыми культурами, с биосинтезом нуклеиновых кислот и белков. Предполагается, что только в присутствии молибдена возможен разрыв тройных связей в молекуле азота. При нитратном питании растения испытывают большую потребность в молибдене, чем при аммонийном питании или использовании мочевины.

Исключительное действие молибден оказывает на образование и содержание аскорбиновой кислоты в растениях. Он, изменяя свою валентность, участвует в окислительно-восстановительных реакциях и является важным звеном в цепи переноса электронов от окисляемого субстрата к веществу, которое восстанавливается. Молибдат-ионы могут выступать в роли регуляторов химиче-

ских реакций за счет изменения стехиометрии и окружения реагирующих молекул, вызванного локальными изменениями pH среды. Молибден оказывает ингибирующее воздействие на кислую фосфатазу, тем самым предохраняя фосфорилированные соединения от преждевременного гидролиза. Он выполняет защитную функцию в отношении токсического влияния на растения подвижного алюминия. Молибден усиливает поступление азота в растения и ускоряет синтез амидов, аминокислот и белков. Способствуя синтезу белков и повышая их устойчивость, он увеличивает содержание хлорофилла в листьях, тем самым усиливая интенсивность фотосинтеза. Молибден оказывает положительное влияние на морозостойкость и засухоустойчивость растений.

При недостатке молибдена в питательной среде происходят нарушения синтеза хлорофилла, задержка фотосинтеза и накопления нитратов. Растения при этом выглядят слаборазвитыми и имеют бледно-желтую окраску. Дефицит молибдена также ограничивает развитие клубеньков на корнях бобовых культур. Избыток молибдена оказывает неблагоприятное влияние на растения. Симптомы избытка молибдена у злаков: хлороз листьев, угнетение роста корней, слабое кущение.

Селен. Среднее содержание селена в растениях находится в пределах 0,01–10,0 мг/кг сухой массы. Максимальное количество этого элемента содержится в растениях зерновых культур, меньше его в корне- и клубнеплодах. Основным источником селена для питания растений служит почва. Но некоторые растения, выращиваемые в питательном растворе с низким содержанием элемента, могут поглощать его непосредственно из атмосферы. В процессе поглощения селена корневой системой растений важную роль играют ионообменные процессы. Тем не менее, экспериментальные данные указывают и на активное всасывание корнями соединений селена из почвы или питательного раствора. При этом избыток соединений селена связывается органическими кислотами и выводится из растений. Этот элемент в растениях находится в виде следующих соединений: элементарного селена, селенатов, селенитов, аналогов серосодержащих аминокислот и селенопептидов. Селен выполняет жизненно важные функции растительного организма. В частности, этот элемент влияет на ряд гликолитических и дыхательных ферментов. Наличие селена в среде является необходимым условием биосинтеза формиадегидрогеназы. Этот элемент активизирует также фермент фумаразу. Имеются данные о его положительном влиянии на активность нитратредуктазы. Селен снижает частоту мутаций у растений и стимулирует деление клеток. Этот элемент может замещать серу в метионине и цистеине. При этом первоначально синтезируется селенометионин, который далее преобразуется в селеноцистеин, селеноцистатин, или при демитилировании в селенометилселеноцистеин. Последний, взаимодействуя с глутамином, образует глутамилселенометионинселеноцистеин. Активный синтез этих небелковых аминокислот наиболее характерен для растений-аккумуляторов селена. В растениях, накапливающих сверхвысокое количество селена, кроме перечисленных выше аминокислот обнаружены селенометилцистеин, селеногомоцистеин, глутамин-селенометилселеноцистеин, диметилдиселенид. Большинство растений синтезируют селеноцистеин, селенометионин, селенометионинселеноксид, селенометилселенометатион, селеноцистеин-селенистую кислоту селенопропенилселеноцистеинселеноксил.

Селен может замещать серу и у некоторых ферментов. К ним относятся р-галактозидаза, окситоцид и специфический железосерный белок – путидаредоксин. Этот белок необычен тем, что его сера не входит в состав полипептидной цепи, а представлена двумя атомами кислотолабильной серы, которые легко заменяются двумя атомами селена. Соединения селена активируют папа-

ин и дегидрогеназу 3-фосфоглицеринового альдегида. Это служит указанием на влияние селеноорганических соединений на процессы гликолиза и гидролиза белков в растениях. Селен участвует в реакциях образования хлорофилла, синтезе трикарбоновых кислот, а также в метаболизме длинноцепочных жирных кислот. Все это, а также присутствие в растительных клетках ферродоксинов, содержащих вместо серы селен, свидетельствует об участии этого элемента в процессах фотосинтеза. Селен оказывает антагонистическое влияние на поглощение и транспорт тяжелых металлов растениями, повышает устойчивость к водному стрессу, соле- и засухоустойчивости. Как избыток, так и недостаток селена в питательной среде одинаково отрицательно сказываются на росте и развитии растений. При избытке селена наблюдается накопление свободных растворимых аминокислот и торможение синтеза белка.

Цинк. Содержание цинка в растениях составляет 15–60 мг/кг сухой массы. Этот элемент поступает в растения в форме катионов и хелатных соединений. Поглощение его корнями может быть пассивным и активным. Физиологическая роль цинка в жизнедеятельности растений в значительной степени определяется его присутствием в составе многих ферментов. Цинк входит в состав карбоангидразы и карбоксилазы, участвующих в процессе дыхания. Он активирует эналазу, под действием которой происходит образование фосфоэнолпирувата из фосфоглицериновой кислоты. Цинк входит в состав и активирует щавелевоуксусную дегидрогеназу, которая ответственна за образование пировиноградной кислоты и отщепление диоксида углерода от щавелевоуксусной кислоты. Поскольку пировиноградная кислота является основным звеном метаболизма в растительной клетке, то можно полагать, что цинк влияет на образование пировиноградной кислоты, поэтому имеет важное значение для процессов обмена веществ в растительных организмах. Другой цинксодержащий фермент – триозофосфатдегидрогеназа, участвует в окислении и фосфорилировании фосфоглицеринового альдегида с образованием дифосфоглицериновой кислоты и регулирует поступление фосфора в растения. Одновременно цинк является компонентом алкогольдегидрогеназы, принимающей участие в образовании пигментного аппарата растений. Он входит в состав активного центра щелочной фосфатазы. Кроме того, цинк активирует глутаматдегидрогеназу, лактатдегидрогеназу, полифенолоксидазу, пероксидазу, каталазу, гексокиназу и альдолазу. Важна роль микроэлемента в окислительно-восстановительных процессах растений. В частности, установлено усиление восстановительных процессов под его воздействием. Цинк принимает активное участие в азотном обмене растений: недостаток его приводит к значительному накоплению небелковых соединений азота – амидов, аминокислот. Улучшение снабжения растений цинком, наоборот, усиливает синтез белковых веществ. Имеются данные о положительном влиянии его на конформацию белков. Цинк принимает активное участие в синтезе ДНК и обеспечивает прочность связи хлорофилла с белком, предохраняя его от преждевременного распада, что приводит к увеличению содержания хлорофилла в листьях и усилению интенсивности фотосинтеза. Цинк участвует в процессах оплодотворения и развития зародыша.

Одной из важнейших функций цинка является его причастность к биосинтезу фитогормонов. В частности, при недостатке этого элемента заметно снижается содержание ауксинов. Это вызвано как ухудшением биосинтеза индолилуксусной кислоты (ИУК) из-за нарушений в образовании ее предшественника – триптофана, снижения активности триптофансинтетазы и содержания витамина В₆, связанного с синтезом триптофана, так и с усилением окислительного декарбоксилирования, ведущего к разрушению ИУК.

Цинк оказывает существенное влияние на поступление и обмен фосфора в растения. При недостатке цинка усиливается поступление в растения и транспорт фосфора из корней в надземные органы, где он накапливается в больших количествах в виде неорганических соединений. Улучшение питания растений этим микроэлементом ограничивает избыточное поступление в них фосфора и оказывает положительное влияние на его утилизацию. Цинк оказывает существенное влияние на поступление и содержание в растениях и других элементов минерального питания. Он повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды. В частности, имеются данные о положительном влиянии его на засухоустойчивость и зимостойкость растений, а также их устойчивость к грибковым и бактериальным заболеваниям.

Симптомом цинкового голодания у растений является возникновение хлоротичных пятен между жилками листьев, преждевременное созревание растений и резкое снижение их продуктивности. Цинковая недостаточность проявляется в виде ослабления роста, побледнения окраски верхних листьев и появления бурых пятен, напоминающих ржавчину, на нижних листьях. Избыточное содержание цинка в питательной среде подавляет рост и развитие растений, вызывает хлороз листьев и нарушает механизм избирательного поглощения корневой системой питательных элементов.

Ванадий. Высшие растения содержат ванадия в среднем около 1,0 мг/кг сухой массы. Пределы же его накопления в растениях значительно колеблются и обусловлены, главным образом, видовой принадлежностью и общей экологической обстановкой. Наиболее богаты этим элементом бобовые растения, наименее – плодово-ягодные культуры, злаковые занимают промежуточное положение между ними. Больше ванадия содержится в корнях и листьях, меньше – в стеблях и семенах. Богаты этим элементом клубеньки бобовых растений; содержание ванадия в них достигает 3–4 мг/кг сухой массы вещества.

Ванадий относится к числу жизненно важных элементов для растений. Функции этого элемента прежде всего связаны с фиксацией атмосферного азота, дыхательным газообменом, фотосинтетической деятельностью, липидным, нуклеиновым и углеводным обменами растения. Он участвует в синтезе нуклеотидов, повышает интенсивность фотосинтеза, увеличивает содержание хлорофилла и фотосинтетическую активность хлорофилла. Ванадий ингибирует рибонуклеазу, тем самым тормозит разрушающее действие этого фермента на генетическую структуру клетки. Он активизирует процесс удаления гистонов из хроматина ядер клеток, что создает благоприятные условия для активного течения биохимических процессов при прорастании семян.

Ванадий положительно влияет на активность нитратредуктазы и накопление белка в растениях. Он необходим почвенным свободноживущим микроорганизмам и клубеньковым бактериям, таким образом принимая непосредственное участие в фиксации ими молекулярного азота.

Иод. Среднее содержание иода в растениях составляет 0,42 мг/кг сухой массы, а колебания достигают величин порядка 0,01–2,50 мг/кг, т.е. различаются в 250 раз. Наибольшие количества иода концентрируются в подземных органах – корнях и корневищах. Из надземных органов растения наивысшим содержанием микроэлемента характеризуются листья по сравнению со стеблями и зерном. Иод в растениях входит в состав структурных компонентов клетки и принимает непосредственное участие в важнейших метаболических процессах. Он присутствует в составе аминокислот, пептидов, полипептидов и белков. Кроме того, иод является компонентом биологически высокоактивного соединения – гормо-

на тироксина (тетраиодтиронина). Являясь активным донором или акцептором электронов и создавая сильное электромагнитное возмущение, ионы иода могут оказывать косвенное, неспецифическое воздействие на активность ферментов и на связанные с их деятельностью окислительно-восстановительные, транспортные или гидролитические и синтетические процессы метаболизма растений. Иод изменяет вязкость протоплазмы, количество белков, их структурные и конформационные свойства, а вместе с этим и водный режим растений. Этот элемент оказывает воздействие и на продуктивность фотосинтеза, изменяя состояние воды в растениях и активируя биосинтез пластидных пигментов, основу которых составляют белковые соединения. Кроме того, не исключено и прямое действие ионов иода, обладающих сильными физическими характеристиками и переменной валентностью, на реакции фотосинтеза, связанные с переносом электронов. Иод, участвуя непосредственно в азотном обмене и окислительно-восстановительных процессах, оказывает влияние на углеводный обмен и интенсивность фотосинтеза. Повышая общий уровень фотосинтетической активности растений, он усиливает ростовые процессы и продуктивность.

4.4. Ультрамикрэлементы

Барий. Фоновое содержание бария в растениях варьирует в пределах 0,01–250 мг/кг сухой массы, достигая наибольших значений в листьях злаков и бобовых и наименьшее – в зерне и фруктах. Поглощение этого элемента корневой системой связано как с конвективным переносом, так и с обменной диффузией. Его потребление во многом зависит от реакции среды: с подкислением этот процесс возрастает, а подщелачивание, наоборот, ограничивает его.

В процессах метаболизма барий ведет себя подобно кальцию. При очень низких концентрациях этот элемент повышает энергию прорастания и всхожесть семян, урожай плодов, их сахаристость и содержание аскорбиновой кислоты. Однако при избыточном поступлении бария в растения, порядка 220–250 мг/кг золы, наблюдается бариевый токсикоз: растения становятся карликовыми, листья приобретают светло-бледную окраску, урожай снижается.

Бериллий входит в состав сухого вещества как высших, так и низших растений. В естественных условиях его содержание в растениях колеблется в пределах 0,001–0,4 мг/кг сухой массы. Бериллий поступает в растение в ионной форме через корни и диффундирует латерально по апопласту. Преобладающую часть этого элемента корневая система поглощает пассивно, но при низких его концентрациях в почвенном растворе поглощение носит активный характер. Установлено положительное влияние микроколичеств бериллия на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, а также рост и развитие растений. Стимулирующее действие бериллия усиливается, когда в среде не хватает магния. Это дает основание предполагать, что этот элемент частично выполняет биологические функции магния. Концентрации бериллия в питательном растворе порядка $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ М уже ядовиты для большинства растений. При таких количествах бериллий тормозит прорастание семян и потребление кальция и магния корнями, нарушает фосфорный обмен растений и разрушает некоторые протеины и ферменты. Симптомы бериллиевого токсикоза у растений: бурые недоразвитые корни и чахлая листва.

Бром. Содержание брома в растениях колеблется в пределах 0,004–40 мг/кг сухой массы. Содержание этого элемента в растениях не всегда коррелирует с его концентрацией в почвенном растворе, а также не зависит от типа почв, степени их дренированности или величины рН. Однако известно, что растения лег-

ко извлекают бром из почв, если последние обогащены им. Брома требуется высшим растениям примерно в 10 раз меньше, чем хлора. Этот элемент может частично замещать необходимый растениям хлор, поэтому его избыток токсичен для них. Микродозы брома стимулируют поглощение растениями элементов минерального питания, оказывают положительное влияние на интенсивность фотосинтеза и активность окислительных ферментов. Этот элемент принимает непосредственное участие в процессе высвобождения кислорода хлоропластами. Симптомы токсикоза, вызванного бромом, сходны с влиянием избытка солей; в частности, типичен хлороз с последующим некрозом листьев.

Висмут. Среднее содержание висмута в растениях не превышает 0,02 мг/кг сухой массы. Преобладающая часть – до 80 % поглощенного растениями висмута, – остается в самих корнях. Меньше его содержание в стеблях, листьях и еще меньше в генеративных органах. Физиологические функции висмута в растениях в настоящее время не выяснены. Установлено положительное влияние этого элемента на прорастание семян, площадь листьев, чистую продуктивность фотосинтеза и величину урожая.

Вольфрам. Содержание вольфрама в растениях колеблется от 0,001 до 100 мг/кг и в среднем составляет 0,15 мг/кг сухой массы. Растения легко усваивают этот элемент из почвенного раствора. Поэтому концентрации вольфрама повышены в растениях, произрастающих на обогащенных этим элементом почвах. Растения способны поглощать вольфрам как в виде катиона, так и в форме аниона (W_4^{2-}), последнее имеет место на кислых почвах. Примерно 1/3 поглощенного корневой системой вольфрама перемещается в надземные органы растений и депонируется в стеблях и листьях. Вольфрам принимает участие в процессах циклического и нециклического фосфорилирования, оказывает положительное влияние на интенсивность фотосинтеза, биосинтез пластидных пигментов и участвует в функционировании электрон-транспортной цепи хлоропластов.

Кадмий. Содержание кадмия в растениях составляет 0,001–0,1 мг/кг сухой массы. В растениях, произрастающих на загрязненной этим элементом почвах, его содержание может возрастать в 100–400 раз. Кадмий поглощается как корневой системой, так и листьями. Свыше 90 % поступившего в корни кадмия транспортируется в надземную часть в катионной форме и лишь около 10 % – по ксилеме в виде органических комплексов. Кадмий входит в состав наиболее быстро разрушающихся тканей и структурных элементов клеток растения. Он, имея сильное сродство к сульфгидрильным и фосфатным группам, оказывает непосредственное влияние на обмен веществ. Под его влиянием усиливается синтез серосодержащих аминокислот цистина, цистеина и метионина. В то же время кадмий относится к исключительно токсичным элементам. При систематическом поступлении он накапливается в растениях и вызывает нарушения в обмене веществ, выражающиеся в том, что процессы распада начинают преобладать над процессами биосинтеза. Токсичность элемента не противоречит его биологической необходимости. Кадмий, как и любой другой элемент, имеет "концентрационное окно", внутри которого он становится необходимым. Стимулирующий эффект кадмия наблюдается при его концентрации в питательном растворе 10^{-5} М. Такие низкие концентрации данного элемента стимулируют всхожесть, энергию прорастания и повышают силу роста семян и благотворно влияют на рост, развитие и продуктивность растений.

Литий. Среднее содержание лития у двудольных растений равно 1,33 мг/кг, у однодольных – 0,85 мг/кг сухой массы. Максимальное содержание этого элемента установлено у растений, произрастающих на солонцах, солон-

чаках и других почвах с повышенным содержанием щелочных металлов. В то же время следует отметить, что литий относится к элементам, имеющим барьер поглощения. Стимулирующие воздействия этого элемента на различные растения проявляются при его содержании в питательном растворе в количестве 0,018–1,18 ммоль-эк/л, а угнетающие – 1,43–11,8 ммоль-эк/л.

Литий структурно не входит в состав каких-либо биологических соединений, однако он является активным регулятором метаболических процессов. Важнейшей стороной физиологической роли лития является его участие в метаболизме азотсодержащих веществ, в т. ч. белков и генетически связанных с ними нуклеиновых кислот. Литий оказывает влияние на содержание и гетерогенный состав белков и нуклеиновых кислот, ферментативную активность важнейших энзимов, связанных с белково-нуклеиновым обменом – глутамат-дегидрогеназы, аминоксил-т-РНК-синтетазы, рибонуклеазы. Под воздействием лития значительно возрастает активность нитратредуктазы – ключевого фермента азотного обмена растений. Литий положительно влияет на структуру нуклеиновых кислот благодаря его способности образовывать с ними комплексные соединения. Нейтрализуя отрицательный заряд фосфатных групп ДНК, он способствует стабилизации вторичной ее структуры. Одновременно литий упорядочивает и стабилизирует структуру транспортной РНК, тем самым защищая его от гидролитического действия нуклеаз. Следовательно, одной из возможных причин воздействия этого элемента на нуклеиновый обмен является его влияние на активность ферментов, связанных с распадом и синтезом нуклеиновых кислот. Одной из важнейших специфических сторон физиологической роли лития является его способность регулировать биосинтез алкалоидов и их предшественников. В частности, под воздействием этого элемента в растениях повышается содержание никотина и алкалоидов – атропина, гиосциамина. В пользу участия лития в биосинтезе алкалоидов свидетельствует также тот факт, что многие литиефилы относятся к алкалоидным растениям. Имеются сведения о положительной роли лития в углеводном обмене растений. В частности, под воздействием этого элемента повышается активность фермента сахарозосинтетазы в направлении расщепления сахарозы и образования уридиндифосфатглюкозы и аденозиндифосфатглюкозы. Под влиянием лития усиливается фосфорилитическое расщепление крахмала с участием фермента фосфорилазы. Литий повышает фотохимическую активность хлоропластов, интенсивность дыхания и положительно влияет на накопление в растениях аскорбиновой кислоты.

Ион лития имеет наименьший радиус среди всех щелочных металлов, однако в результате сильной гидратации радиус его увеличивается. Поглощение таких гидратированных ионов ведет к увеличению количества свободной и связанной воды в клетках растений. Под влиянием сильно гидратированного иона лития изменяются коллоидно-химические свойства протоплазмы, повышается водоудерживающая способность внутриклеточной жидкости, возрастает засухо- и жароустойчивость растений.

Мышьяк. Содержание мышьяка в растениях, произрастающих на незагрязненных почвах, изменяется в пределах 0,009–1,5 мг/кг сухой массы. На загрязненных почвах растения могут накапливать экстремально высокие количества этого элемента свыше 6000 мг/кг сухой массы. В объяснении механизма положительного действия мышьяка на растения существуют два взгляда. Первый – соединения этого элемента, обладая свойствами восстановителей, повышают активность окислительных ферментов в клетках растений, что создает благоприятные условия для роста и развития. Другое объяснение стимулирующего действия мышьяка на жизнедеятельность растений выражается в том, что он усили-

вайт или задерживает развитие болезнетворных микроорганизмов в почве. По отношению к высоким концентрациям мышьяка растения классифицируют на три группы: 1) очень устойчивые (аспарагус, картофель, томаты, морковь, табак, ежевика, виноград, малина); 2) среднеустойчивые (земляника, кукуруза, свекла, тыква, кабачок); 3) слабоустойчивые (лук, горох, огурцы, люцерна). Наибольшей резистентностью обладают бесхлорофильные растения. Систематическое приращение соединений мышьяка вызывает угнетение роста и развития растений.

Никель широко распространен в растительном царстве. Причем, содержание его в растениях, растущих даже на незагрязненных почвах, может существенно изменяться, поскольку зависит как от вида, так и от экологических условий. Но все же количество никеля в большинстве культурных растений приблизительно одинаковое. Среднее его содержание в растениях, принадлежащих к семейству мятликовых, изменяется от 0,1 до 0,7 мг/кг; бобовых – от 1,2 до 2,7 мг/кг сухой массы. Большинство овощных культур, употребляемых в пищу человеком, содержат его от 0,2 до 4,0 мг/кг сухой массы. В среднем содержание никеля в овощах оценивается в 0,50 мг/кг сухой массы. Никель выводит растения из состояния покоя, регулирует образование гистонов, способствует перемещению азота и прорастанию семян. Под влиянием этого элемента изменяется активность фермента уреазы, катализирующей гидролиз мочевины, аргиназы, оксалоацетатдекарбоксылазы, пептидазы, енолфосфопируват-аденозин-трифосфатпиролазы, нитратредуктазы и гидратазы. Никель является стабилизирующим фактором для антоциановых ферментов, действие которого связано с резким активированием аскорбинат- и фенолоксидаз. Этот элемент ингибирует в определенных условиях кислую фосфатазу. Никель участвует в процессе трансаминирования, ускоряет окисление гидрильных групп в дисульфидные. Входя в состав полярных липидов, никель стимулирует процесс фотосинтеза.

Рубидий. Содержание рубидия колеблется от $0,8 \cdot 10^{-2}$ до $1,2 \cdot 10^{-2}$ % сухой массы. Преобладающая часть этого элемента находится в вегетативных органах растения. Как правило, содержание рубидия в растениях выше, чем в почвах, на которых они произрастают. Это хотя и косвенно, но все же указывает на необходимость рубидия для роста и развития растений. Рубидий, изменяя коллоидное состояние цитоплазмы, регулирует интенсивность фотосинтеза, биосинтез углеводов и белка. Этот элемент может отчасти замещать позиции ионов калия во многих соединениях, но не может замещать его в процессах метаболизма.

Свинец. Природное содержание свинца в растениях колеблется в пределах 0,001–10,0 мг/кг сухой массы. Зерновые могут содержать этот элемент в количестве 0,01–7,50 мг/кг; фрукты – 0,03–0,4; овощи – 0,01–1,3 мг/кг. В растениях, выращенных на почвах с избытком свинца, его содержание в 2–5, а иногда и в 10 раз превышает фоновое. Содержание свинца в растениях зависит от множества факторов: систематического положения растений; условий среды обитания; фазы развития; возраста. Концентрация этого элемента в растениях носит акропетальный характер. Она убывает в рядах: корни > листья > стебли > плоды (семена) для травянистых растений; корни > кора > листья > древесина > плоды (семена) для древесных растений. Наименьшее содержание свинца отмечается в репродуктивных органах растений (плоды, семена), что связано с деятельностью защитных механизмов, препятствующих поступлению тяжелых металлов в эти органы.

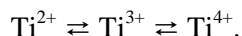
Основная часть свинца поступает в растения в результате пассивного поглощения корнями. Свинец, поглощенный корнями, откладывается в клеточной стенке в виде кристаллов нерастворимых фосфатных комплексов. Из

корневой системы в надземные органы поступает лишь незначительное количество этого элемента – не более 3–5 %.

Хотя нет достоверных данных о необходимости свинца для жизнедеятельности растений, однако имеется значительное количество сообщений о стимулирующем действии на их рост низких концентраций этого элемента в питательной среде. Более того, описаны эффекты торможения метаболизма растений, возникающие из-за низких уровней содержания свинца. В большинстве случаев свинец ускоряет прорастание семян и синтез углеводов в растениях.

Титан. Содержание титана в растениях в большинстве случаев колеблется от 0,05 до 5000 мг/кг сухой массы. Коэффициент биологического поглощения, вычисленный из соотношения титана в золе надземной массы растений к содержанию в почвах, как правило, меньше единицы.

Двух-, трех- и четырехвалентные ионы титана легко переходят друг в друга:



Особый интерес представляют соединения Ti^{3+} , для которых в зависимости от условий среды наблюдается как понижение, так и повышение валентности. Вследствие этого возможно участие титана в разнообразных окислительно-восстановительных реакциях в организме. Экспериментально установлено положительное влияние этого элемента на биосинтез и фотосинтетическую активность хлорофилла в листьях растений. Входя в состав липидов растительных клеток, титан играет важную роль в процессе фотосинтеза. Титан оказывает положительное влияние на интенсивность циклического и нециклического фотофосфорилирования в листьях растений. Под воздействием этого элемента также ускоряются процессы фотовосстановления, т. е. реакции переноса электрона по электрон-транспортной цепи. Все это приводит к большому накоплению в листьях восстановленных интермедиатов и макроэргических фосфатов, что в свою очередь благотворно влияет на продуктивность растений.

Фтор. Содержание фтора в растениях колеблется от 0,001 мг до нескольких сот миллиграммов на кг сухой массы. К растениям, отличающимся особенно большим накоплением этого элемента, относятся чай, содержащий фтор в количестве 75–100 мг/кг, и петрушка – 30–35 мг/кг сухой массы. Фтор поглощается как корневой системой, так и листьями. Растворимые формы этого элемента поглощаются из почвы корнями растений пассивно и легко переносятся в растительных тканях. В газообразной форме (HF) он поступает в растения через устьица листьев, а фториды, находящиеся в виде твердых частиц, поглощаются всей поверхностью надземных органов.

Фтор для растений является типичным ультрамикроэлементом. В низких концентрациях он оказывает положительное влияние на рост, развитие и продуктивность растений. Фтор регулирует ряд ферментов азотного и углеводного обменов. Как компонент фторацетата, этот элемент принимает участие в конверсии* цитрата. В то же время соединения фтора чрезвычайно токсичны для растений. Наиболее значительное их влияние на метаболизм растений проявляется в снижении темпов поглощения кислорода и ассимиляции (питательных веществ), уменьшении содержания хлорофилла и каротиноидов; ингибировании синтеза углеводов; подавлении функции пиррофосфатазы, изменении метаболизма клеточных органелл, повреждении ДНК и РНК, синтезе фторацетата – наиболее токсичного соединения фтора.

* Конверсия – обмен, изменение, превращение.

Хром. Содержание хрома в растениях изменяется от 0,005 до 0,3 мг/кг сухой массы. Преобладающая часть этого элемента, содержащегося в растениях, поглощается корневой системой, и определяется в основном содержанием его растворимых соединений в почвах. Хром может поступать и через листовую поверхность. При этом основная часть его остается в листе, а незначительная – транспортируется и в корни. Хром усиливает активность кислой фосфатазы, участвует в транспорте электронов и в метаболизме глюкозы. Небольшие концентрации этого элемента положительно влияют на рост, развитие и продуктивность растений.

5. АГРОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Высшие растения относятся к автотрофным организмам, т. е. они сами синтезируют органические вещества за счет минеральных соединений, в то время как для животных и подавляющего большинства микроорганизмов характерен гетеротрофный тип питания – использование органических веществ, ранее синтезированных другими организмами. Накопление сухого вещества растений происходит благодаря усвоению диоксида углерода через листья (воздушное питание), а воды, азота и зольных элементов через корни (корневое питание).

Э.А. Муравин, 2003

Питание растений – это процесс поглощения, передвижения и усвоения питательных элементов и энергии в виде фотосинтетически активной радиации (ФАР) из окружающей среды. Оно является важнейшей составной частью обмена веществ. Пространственное разделение двух питательных сред, в которых обитают растения, привело к возникновению у них двух органов питания: корня, предназначенного для поглощения элементов минерального питания и воды из почвы, и листа, приспособленного к ассимиляции диоксида углерода и энергии ФАР из атмосферы. Механическая и функциональная связь между ними осуществляется стеблем. Корень, стебель и лист пронизаны непрерывной системой проводящих пучков, состоящих из ситовидных трубок флоэмы, по которым идет нисходящий транспорт ассимилятов из листа в корень, и сосудов ксилемы, по которым вода и элементы минерального питания поднимаются из корня в лист. Первичное включение диоксида углерода в органические соединения происходит преимущественно в листьях, воды и элементов минерального питания – во всех органах растения. Эти два вида питания растений взаимосвязаны между собой.

Важнейшие элементы минерального питания – азот, фосфор, сера и магний – являются строительным материалом для фотосинтетического аппарата; калий, железо, марганец, медь и другие элементы, хотя непосредственно не входят в состав хлоропластов, влияют на биосинтез пластидных пигментов, а следовательно, и на фотосинтез. Азот, являясь составной частью белка и хлорофилла, усиливает их синтез, обеспечивает образование аминокислот и органических кислот. Калий и кальций, изменяя коллоидное состояние цитоплазмы, оказывают влияние на интенсивность фотосинтеза, накопление хлорофилла, углеводов и белков. Фосфор входит в состав фосфорилированных соединений, принимающих участие в ассимиляции углекислого газа, регенерации пентозофосфатов и аккумуляции химической энергии в фосфорных связях аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Бор, образуя комплексные соединения с

сахарами, усиливает их отток в процессе фотосинтеза. При недостатке магния, железа, цинка, марганца, меди и кобальта снижается ассимиляция углекислого газа и появляется заболевание растений – хлороз листьев. Избыток натрия, алюминия, фтора и хлора отрицательно влияет на биосинтез пластидных пигментов и ингибирует процесс фотосинтеза. Следовательно, сбалансированное минеральное питание растений является необходимой предпосылкой для их активной фотосинтетической деятельности, что, в свою очередь, положительно влияет на поглотительную активность корневой системы. Сущность влияния фотосинтетической активности листьев на усвоение элементов минерального питания состоит в том, что ассимилянты, поступившие из листьев в корни через проводящую систему, превращаются в органические кислоты, аминокислоты и другие вещества ионного типа, участвующие в первичном связывании элементов корневого питания. Снабжение корневой системы ассимилянтами – не единственная сторона механизма связи фотосинтеза и корневого питания. Образующаяся в процессе фотосинтеза АТФ может быть использована в восстановлении нитратов и сульфатов. Таким образом, питание является единым процессом жизнедеятельности растительного организма.

5.1. Фотосинтез

Догадка о существовании фотосинтеза опередила экспериментальные доказательства. Так, еще в 1727 г. С. Гейлес предположил, что свет необходим для процессов, при которых растение получает пищу из воздуха. Несколько позже, в 1753 г. аналогичную мысль высказал М.В. Ломоносов в работе "Слово о явлениях воздушных". Это было очень важно, т. к. прежде думали, что растения получают необходимые субстраты из воды и почвы.

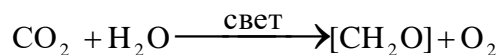
П.С. Беликов, Г.А. Дмитриева, 1922

Природа поставила перед собой задачу: как уловить потоки света, льющиеся на Землю, и как хранить в твердой форме этот самый неуловимый из всех видов энергии? Каков механизм улавливания этой самой энергии?

Л. Страйер, 1985

5.1.1. Физиология и биохимия фотосинтеза

Слово "**фотосинтез**" буквально означает создание или сборку чего-то под действием света. Этот термин был предложен в 1877 г. известным немецким физиологом растений Вильгельмом Пфенфером. Обычно, говоря о фотосинтезе, имеют в виду процесс, при котором происходят аккумуляция электромагнитной энергии Солнца пластидными пигментами и превращение ее в химическую энергию, поглощение диоксида углерода из атмосферы, восстановление его в органические соединения и выделение кислорода в окружающую среду. Суммарную реакцию фотосинтеза можно описать уравнением:



Углеводы, образующиеся в результате этой реакции, содержат больше энергии, чем исходные вещества – диоксид углерода и вода. Таким образом, за счет энергии Солнца энергетически бедные вещества CO_2 и H_2O превращаются в богатые энергией продукты – углеводы и кислород.

Фотосинтез – единственный процесс в биосфере, ведущий к увеличению ее свободной энергии за счет внешнего источника. Ежегодно в результате фотосинтеза на Земле образуется 150 млрд. т органического вещества, выделяется около 200 млн. т свободного кислорода. Круговорот кислорода, углерода и других элементов, вовлекаемых в фотосинтез, поддерживает состав атмосферы, необходимый для жизни на Земле. Фотосинтез препятствует увеличению концентрации диоксида углерода, предотвращая перегрев Земли вследствие так называемого парникового эффекта. Запасенная в продуктах фотосинтеза энергия – основной источник энергии для человечества. Огромное значение фотосинтеза как космического процесса образно выразил Жан Себень: "Я вижу, как моя кровь образуется в хлебном колосе ..., а древесина отдает зимою тепло, огонь и свет, похищенные ею у солнца".

Основное количество диоксида углерода растения получают из воздуха, остальное – через корневую систему. Установлено, что фотосинтез лучше всего происходит при содержании в воздухе 1 % CO₂, в то время как концентрация его здесь составляет всего лишь 0,03 %. В метровом приземном слое воздуха находится около 5-6 кг/га диоксида углерода, тогда как растения для своего роста и развития усваивают его до 250-300 кг/га. Количество CO₂ поддерживается в приземном слое атмосферы за счет притока воздуха из верхних слоев и поступления его из почвы, где она образуется при разложении органического вещества. На фотосинтез используется около 2 % ФАР, остальная поглощенная энергия расходуется в основном на транспирацию и теплообмен с окружающей средой. Количество миллиграммов CO₂, усвоенного за 1 ч 1 дм² листовой поверхности, называется **интенсивностью фотосинтеза** (ИФ). Когда трудно определить площадь фотосинтезирующего объекта (хвоя, семена, плоды, стебли), полученные величины относят не к единице площади, а к единице массы органа.

Величины интенсивности фотосинтеза, рассчитанные по количеству поглощенного диоксида углерода и по количеству выделенного кислорода, могут не совпадать, т. к. CO₂ участвует в темновой, а кислород образуется в световой фазе фотосинтеза. Отношение объема выделенного кислорода к объему поглощенного диоксида углерода **называется фотосинтетическим коэффициентом**.

Для характеристики фотосинтеза пользуются и такими показателями как квантовый расход, квантовый выход и ассимиляционное число. **Квантовый расход** – это отношение числа поглощенных квантов света к числу ассимилированных молекул диоксида углерода. **Квантовый выход** – это отношение числа ассимилированных молекул диоксида углерода к числу поглощенных квантов света. **Ассимиляционное число** (фотосинтетическая активность хлорофилла) – это отношение количества поглощенного диоксида углерода к количеству хлорофилла, содержащегося в листе.

Основным фотосинтезирующим органом растения является лист. Как орган, осуществляющий ассимиляцию диоксида углерода и испарение воды, он отличается плоской структурой и небольшой толщиной. Благодаря этому при малых затратах строительного материала создается значительная общая поглощающая поверхность листьев. Листовая поверхность превосходит площадь почвы, которую занимает растение. Для характеристики размеров фотосинтетического аппарата используют **индекс листовой поверхности** (ИЛП) – отношение суммарной поверхности листьев к площади покрытой растениями почвы. Используя этот показатель, можно оценивать эффективность культуры в отношении накопления сухого вещества – конечного результата фотосинтетической деятельности. Продуктивность посевов определяется наряду с ИФ и ИЛП длительностью функционирова-

ния фотосинтетического аппарата, характеризуемого показателями: фотосинтетическим потенциалом (ФП) и чистой продуктивностью фотосинтеза (ЧПФ).

Фотосинтетический потенциал – это число "рабочих дней" листовой поверхности растения, рассчитываемое как произведение полусуммы площадей листьев за два последующих определения на длительность периода между этими определениями в днях. ФП выражается в $\text{м}^2 \cdot \text{сут./га}$ или $\text{дм}^2 \cdot \text{сут./раст.}$ и определяют по формуле:

$$\text{ФП} = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) n,$$

где: S_1 и S_2 – площадь листьев в начале и конце периода;
 n – число дней в учетном периоде.

Чистая продуктивность фотосинтеза характеризует работу фотосинтетического аппарата растения и измеряется количеством сухого вещества в граммах, которое синтезирует 1 м^2 листовой поверхности за сутки. Этот показатель является алгебраической суммой количества ассимилятов, образованных в течение дня в результате фотосинтеза, и количества веществ, усвоенных в результате минерального питания, и минус количество веществ, потраченных растением на дыхание, экзоосмос в почву, механические потери. ЧПФ выражается в г/м^2 и определяется по формуле:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{(L_1 + L_2) \frac{1}{2} n},$$

где: B_1 и B_2 – масса сухого вещества растения в начале и конце учетного периода;
 $B_2 - B_1$ – прирост сухой массы за учетный период;
 $L_1 + L_2$ – площадь листьев растения в начале и конце периода;
 $(L_1 + L_2) \frac{1}{2} n$ – средняя площадь листьев за указанный отрезок времени;
 n – число дней в учетном периоде.

Лист растения – орган, обеспечивающий условия для протекания фотосинтеза. Функционально этот процесс приурочен к специализированным органеллам клетки – хлоропластам. В зависимости от вида растения и условий роста число хлоропластов в клетке может очень сильно различаться – от одного хлоропласта до нескольких десятков и сотен. Хлоропласты представляют собой тельца линзовидной или округлой формы размером 4-10 мкм, имеющие сложную субмикроскопическую структуру (рис. 25; Холл Д., Рао К., 1983). Эти органеллы клетки окружены двойной мембраной, причем внутренняя мембрана вклинивается внутрь хлоропласта и образует сложную систему ламелл. Последние, имеющие по две мембраны, формируют тилакоиды. При наслоении тилакоидов возникают граны. Именно в мембранах локализованы пигменты и все соединения, необходимые для фиксации световой энергии и фотосинтетического переноса электронов. Оставшийся объем хлоропластов заполняет строма, где локализованы ферменты, участвующие в фиксации диоксида углерода.

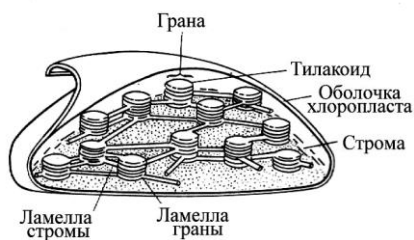


Рис. 25. Схематическое изображение внутренней трехмерной структуры хлоропласта

Хлоропласты способны к активным движениям – изменению ориентации тела и перемещению в пространстве. Они перемещаются, ориентируясь по отношению к свету. Если падающий на лист поток света достигает высокой интенсивности, то хлоропласты становятся к нему в

профиль и занимают боковые стенки клеток, т.е. наблюдается явление фототаксиса*. Если свет слабый, то хлоропласты ориентируются большей поверхностью перпендикулярно световому потоку, тем самым увеличивая площадь поглощения рассеянного света. Им также присуща хемотоксическая чувствительность – они передвигаются в направлении более высокой концентрации CO_2 в клетке. Установлен и эндогенный суточный ритм движения хлоропластов: днем они выстраиваются вдоль стенок, ночью опускаются на дно клетки.

Фотосинтез состоит из нескольких последовательных этапов. Подробное их изложение не входит в задачу данного предмета. Однако огромное значение фотосинтеза требует краткого обсуждения основных его особенностей. Знание природы этого процесса необходимо для понимания того, как влияют на него различные факторы внешней среды, в частности удобрения. Условно фотосинтез можно разделить на две фазы: фотохимическую (световую), для которой требуется свет, и химическую (темновую), протекающую в темноте (рис. 26; Коваль С.Ф., Шаманин В.П., 1999). В результате воздействия света на молекулу хлорофилла выделяется энергия, за счет которой происходит расщепление воды с образованием кислорода и накопление энергии АТФ в восстановленном никотинамидадениндинуклеотидфосфате (НАДФН) – коферменте, служащем акцептором электронов в восстановительных реакциях биосинтеза. В темновой фазе за счет энергии АТФ и НАДФН происходит присоединение молекулы диоксида углерода к первичным акцепторам. Для ассимиляции одной молекулы диоксида углерода требуется не менее 8 квантов света, поглощенного пластидными пигментами. Энергия "моля" квантов фотонов (или эйнштейна) красного света (680 нм) равна 176 кДж, а 8 молей составляет 1408 кДж. Грамм-молекула глюкозы содержит 2818 кДж, т. е. 469 кДж на грамм-молекулу ассимилированного диоксида углерода.

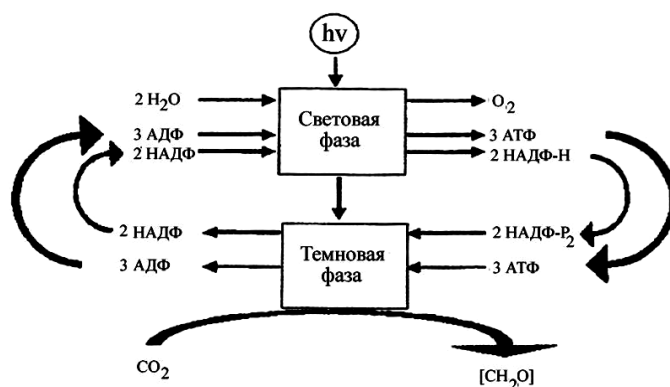


Рис. 26. Световая и темновая фазы фотосинтеза

Первый этап фотосинтеза – это поглощение энергии света молекулами пигментов. Пигменты, участвующие в фотосинтезе, включают хлорофиллы и каротиноиды, которые упакованы в тилакоиды хлоропластов в виде фотосинтетических единиц, называемых фотосистемами (ФС).

В пластидах функционируют две фотосистемы: ФС I и ФС II (рис. 27; Гудвин Т., Мерсер Э., 1986). Связующим звеном между ними служат фонд пластохинонов**, белковый цитохромный комплекс и пластоцианин. Каждая ФС содержит около 200-300 молекул пигментов. Все пигменты ФС поглощают световую энергию, но только одна молекула хлорофилла данной ФС может использовать поглощенную энергию в фотохимических реакциях. Эта молекула хлорофилла называется **реакционным центром** (РЦ) фотосистемы, а другие молекулы пигментов называются **антенными**, поскольку их функция – собирать свет. В ФС реакционный центр образован специфической молекулой хлорофилла **a** и обозначается как Р 700 в ФС I и Р 680 в ФС II. Перенос световой энергии осуществляется в направлении уменьшения энергии кванта: каротиноиды (400-550 нм) – хлорофилл **b** – (650 нм) – хлорофилл **a** (660-675 нм) – реакционный центр (Р 680 или Р 700). Хлорофилл **b**, как вспомогательный пигмент, поглощает свет малых интенсивностей, недоступных хлорофиллу **a**, и передает ему приобретенную при этом энергию, что делает возможным фотосинтез в более широком диапазоне длин волн.

* Фототаксис – двигательная реакция подвижных организмов в ответ на световое раздражение.

** Пластохиноны – метилированные производные *n*-бензохинонов с различной длиной изопреновой цепи. Являются важнейшей системой переноса электронов и участником реакции фосфорилирования.

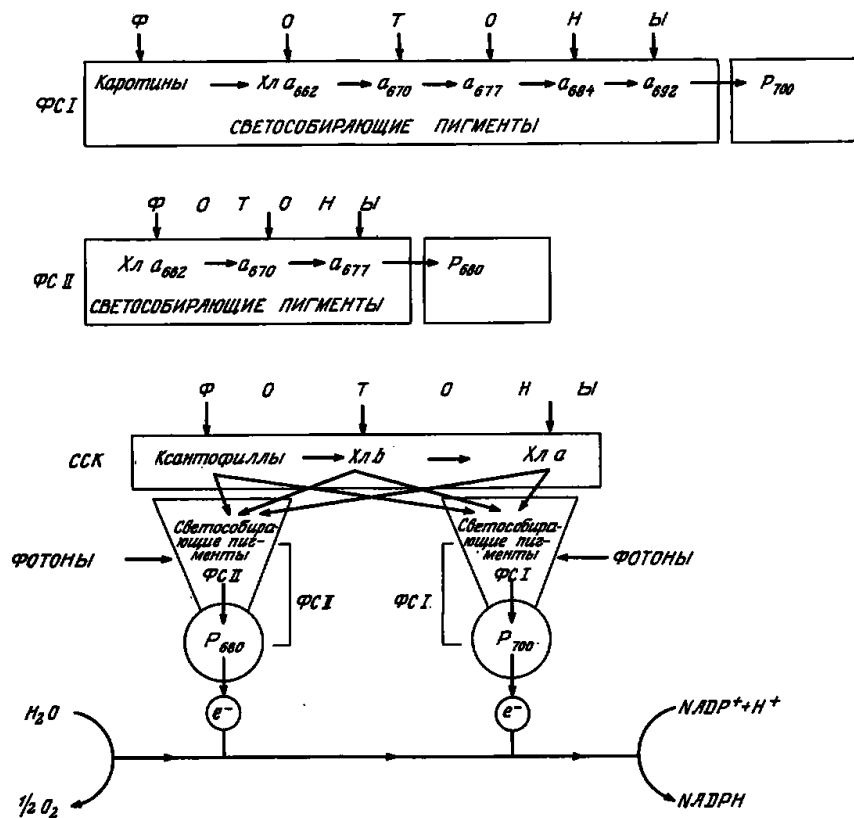


Рис. 27. Организация и взаимодействие пигментов ФС I, ФС II и соответствующего светособирающего комплекса (ССК)

Каротиноиды поглощают свет в синей и фиолетовой части спектра, недоступной для хлорофиллов. Кроме того, эти пигменты выполняют роль светофильтров, защищая молекулы хлорофиллов от необратимого фотоокисления, и участвуют в окислительно-восстановительных реакциях фотосинтеза. Передача энергии от одной молекулы хлорофилла к другой может происходить сотни раз, пока она не будет принята РЦ, которые и осуществляют фотохимические реакции. Действие каждой ФС включает поглощение одного кванта энергии каждым реакционным центром, о котором в таком случае говорят, что он находится в "возбужденном" состоянии. В ФС I "возбужденный" реакционный центр Р 700 отдает электрон акцептору электронов, который представляет собой железосерный белок, а затем электрон передвигается, понижая свой энергетический уровень, к ферредоксину ("фер" означает железо, а "редоксин" подчеркивает участие в окислительно-восстановительных реакциях) и участвует в восстановлении кофермента НАДФ до НАДФН; при этом окисляется молекула Р700 (рис. 28; Кошкин Е.И., Пильщикова Н.В., 1998).

Электроны молекулы Р 700 замещаются электронами ФС II. В ФС II возбужденные электроны РЦ Р 680 парами переносятся на молекулу акцептора – феофитина и затем через ряд переносчиков электронов, включая пластохинон, железосерный белок, цитохромы и пластоцианин, – к возбужденному хлорофиллу Р 700 ФС I. Молекула Р 680, потерявшая свои электроны, может заменить их электронами молекулы воды. Когда электроны воды идут к Р 680, молекула воды диссоциирует на протоны и кислород. Это светозависимое окислительное расщепление воды называют **фотолизом**. Кислород выделяющий комплекс фотосинтеза локализован на внутренней стороне мембраны тилакоидов. В составе этого комплекса в качестве важнейшего кофактора ферментов входит марганец.

Таким образом, фотолиз воды участвует в создании градиента протонов через мембрану. По пути транспорта электронов в электронотранспортной цепи, связующей ФС II с ФС I, часть их энергии расходуется на образование АТФ из аденозиндифосфата (АДФ) путем фосфорилирования. В данном случае имеет место не замкнутый по циклу транспорт электронов, поэтому этот путь фотосинтетического фосфорилирования называется **нециклическим**. Донором элек-

тронов является вода, конечным акцептором – НАДФ. Передача электронов осуществляется при участии двух ФС, поэтому для переноса каждого электрона расходуется два кванта света. На участке между ФС II и ФС I транспорт электрона идет по убывающему градиенту окислительно-восстановительного потенциала с высвобождением энергии и запасанием ее в АТФ. Фосфорилирование происходит и при циклическом переносе электронов в обход ФС II. При этом один из электронов пигмента P 700 переходит на более высокий уровень. В таком состоянии он захватывается железосерным белком, а затем передается на ферредоксин и через ряд промежуточных переносчиков, среди которых имеются флавопротеиды и цитохромы, возвращается обратно на P 700. Это возвращение электрона к положительному редокс-потенциалу представляет собой *экзергонический процесс** и сопровождается образованием АТФ. В ходе этого процесса не образуются восстановительные эквиваленты для темновой реакции и не выделяется кислород; единственным продуктом является АТФ.

Подобно окислительному фосфорилированию, происходящему в митохондриях, фотофосфорилирование в хлоропластах – также хемиосмотический процесс. Когда электроны переносятся по электрон-транспортной цепи от ФС II и ФС I, протоны выкачиваются из стромы в тилакоидное пространство, создавая электрохимический потенциал ионов H^+ , включающий химический, или осмотический градиент и электрический градиент. Когда протоны преодолевают этот градиент, переходя из тилакоидного пространства обратно в строму, запасенная потенциальная энергия становится движущей силой АТФ-синтетазы, катализирующей фосфорилирование АДФ или аденозинмонофосфата (АМФ) до АТФ или АДФ. В темновых реакциях, которые происходят в строме хлоропласта, используются НАДФН и АТФ, образуемые в световых реакциях, чтобы восстанавливать CO_2 до органического углерода. Существуют разные пути восстановления CO_2 в фотосинтезе (рис. 29 и 30; Крамер П.Д., Козловский Т.Т., 1983). Первый, известный как цикл Кальвина, состоит из трех периодов: карбоксилирования, восстановления и регенерации.

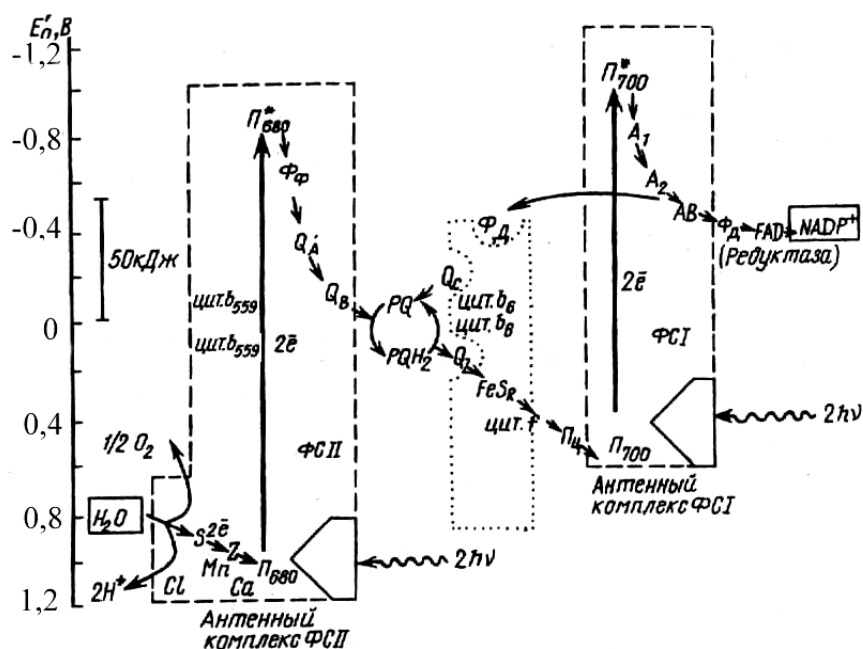


Рис. 28. Схема нециклического и циклического транспорта электронов в хлоропластах

ФС I генерирует восстановительную силу в форме НАДФН; ФС II расщепляет воду с выделением O_2 и генерирует восстановитель. Протонный градиент через мембрану тилакоида генерируется, когда выделяется O_2 и когда поток электронов проходит по электрон-транспортной цепи, связывающей две фотосистемы. Синтез АТФ, как и при окислительном фосфорилировании, запускается протонным градиентом. АТФ может образовываться и без одновременного образования НАДФН. АТФ и НАДФН, образовавшиеся под действием света, используются в дальнейшем для восстановления CO_2 в углерод в серии темновых реакций, называемых циклом Кальвина. Эти реакции происходят в рассматриваемом компоненте хлоропластов.

* Экзергонический процесс – процесс, идущий с освобождением энергии.

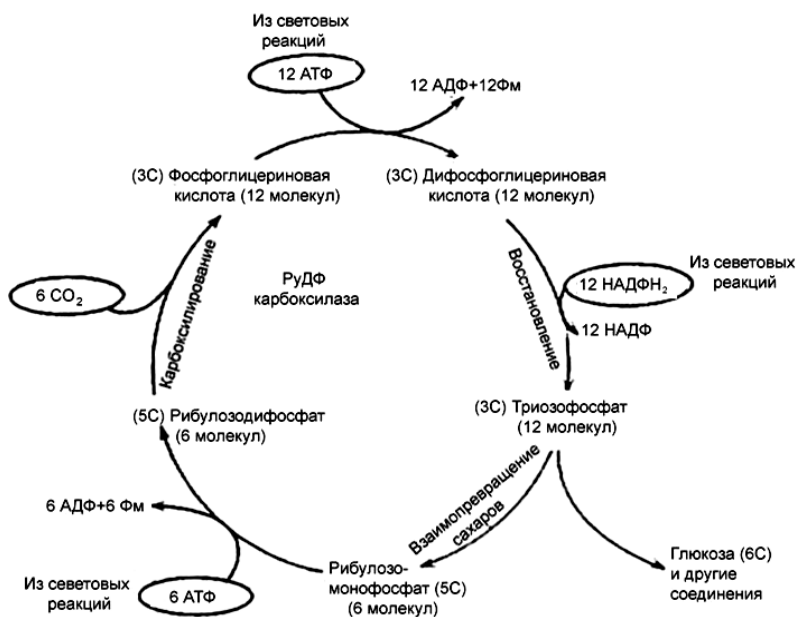


Рис. 29. C_3 -путь фиксации углерода, или цикл Кальвина

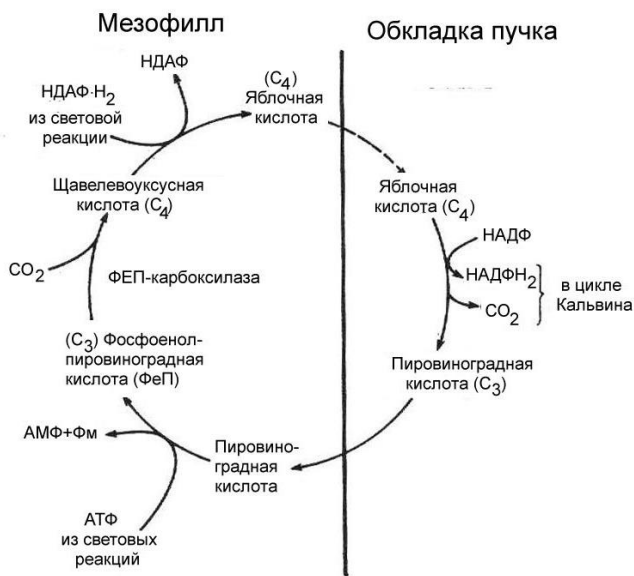


Рис. 30. C_4 -путь фиксации углерода, или цикл Хетча–Слэка

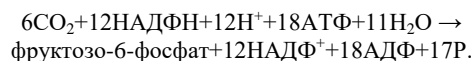
Карбоксилирование. На этой стадии происходит присоединение CO_2 к рибулезо-1,5-дифосфату. Эта реакция катализируется ферментом рибулзодифосфаткарбоксилазой. В результате рибулезо-1,5-дифосфат карбоксилируется и его углеродная цепь удлиняется на один атом углерода. Так возникает цепь с шестью атомами углерода, которая затем непосредственно переходит в первый стабильный продукт фотосинтеза, а именно в две молекулы 3-фосфоглицериновой кислоты.

Фаза восстановления. 3-фосфоглицериновая кислота восстанавливается до 3-фосфоглицеринового альдегида в два этапа. На первом этапе происходит фосфорилирование 3-фосфоглицериновой кислоты при участии АТФ и фермента фосфоглицераткиназы до 1,3-дифосфоглицериновой кислоты. На втором этапе происходит восстановление 1,3-дифосфоглицериновой кислоты с помощью НАДФН и дегидрогеназы фосфоглицеринового альдегида до 3-фосфоглицеринового альдегида. Когда каждая молекула CO_2 уже восстановлена до уровня трехуглеродного сахара триозофосфата, ту часть реакций, которая связана с запасанием энергии при фотосинтезе, можно считать завершённой. Теперь требуется регенерировать, привести в исходное состояние молекулу первичного акцептора CO_2 , т.е. рибулезо-1,5-дифосфата, чтобы фиксация могла повторяться снова и триозофосфат мог бы снова превращаться в более сложные сахара, углеводы, жиры, аминокислоты.

Фаза регенерации первичного акцептора CO_2 и синтеза конечных продуктов фотосинтеза. В результате описанных выше реакций при фиксации трех молекул CO_2 и образовании шести молекул восстановленных 3-фосфотриоз, пять из них используются затем для регенерации рибулезо-5-фосфата, а один – для синтеза глюкозы. Это достигается следующей последовательностью реакций. 3-фосфоглицериновый альдегид под действием фермента триозофосфат-изомеразы изомеризуется в фосфодиоксиацетон. Далее при участии фермента альдолазы 3-фосфоглицериновый альдегид и фосфодиоксиацетон конденсируются с образованием фруктозо-1,6-дифосфата, у которого затем отщепляется один фосфат с помощью фруктозо-1,6-диофосфатазы. В последующих реакциях, связанных с регенерацией акцептора диоксида углерода, возникает цепь фосфорных эфиров сахаров, содержащих в своем составе 4, 5 или 7 атомов углерода.

В этих реакциях последовательно принимают участие ферменты транскетолаза и альдолаза. Транскетолаза катализирует перенос двууглеродной группировки от фруктозо-6-фосфата на 3-фосфоглицериновый альдегид, с образованием эритрозо-4-фосфата и ксилулозо-5-фосфата. Альдолаза затем осуществляет перенос трехуглеродного остатка фосфодиоксиацетона на эритрозо-4-фосфат, в результате чего синтезируется седогепулозо-1,7-диофосфат. От последнего отщепляется один остаток фосфорной кислоты и под действием фермента транскетолазы из него и 3-фосфоглицеринового альдегида образуются ксилулозо-5-фосфат и рибузо-5-фосфат. Две молекулы ксилулозо-5-фосфата при участии фермента рибулозофосфатэпимеразы и одна молекула рибузо-5-фосфата с участием рибузофосфатизомеразы превращаются в три молекулы рибулозо-5-фосфата. Соединение подвергается фосфорилированию за счет АТФ, которую поставляет световая фаза фотосинтеза, с образованием рибулезо-1,5-дифосфата. Цикл при этом замыкается. Из оставшейся неиспользованной шестой молекулы 3-фосфоглицеринового альдегида при повторении цикла под действием фермента альдолазы синтезируется молекула фруктозо-1,6-дифосфата, из которой могут образоваться глюкоза, сахароза или крахмал.

Таким образом, для синтеза одной молекулы глюкозы должно произойти шесть оборотов цикла. В каждом обороте цикла используются три молекулы АТФ: две для активирования двух молекул фосфоглицериновой кислоты и одна при регенерации акцептора CO_2 рибулезо-1,5-дифосфата и две молекулы НАДФН для восстановления фосфоглицеринового альдегида. Поэтому для синтеза одной молекулы глюкозы в цикле Кальвина затрачивается 12 НАДФН и 18 АТФ. Таков энергетический вклад световой фазы в темновую фиксацию CO_2 . Суммарную реакцию можно записать так:

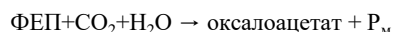


В цикле Кальвина первичными продуктами включения CO_2 в органические вещества и восстановления являются трехуглеродные соединения – 3-фосфоглицериновая кислота, 3-фосфоглицериновый альдегид, фосфодиоксиацетон. Растения, у которых цикл Кальвина – единственный путь фиксации углерода и 3-фосфоглицерат – первый стабильный продукт ассимиляции диоксида углерода, называются *C₃-растениями*. Механизм *C₃*-пути функционирует у растений, для которых характерно наличие видимого фотодыхания, достаточно низкое световое насыщение фотосинтеза и неспособность ассимилировать CO_2 при низкой концентрации его в воздухе.

Одновременно с фотосинтезом в содержащих хлоропласты клетках идет и **фотодыхание**, т.е. светозависимое поглощение кислорода и выделение углекислого газа, которое не сопровождается окислительным фосфорилированием и не дает АТФ. У *C₃*-растений фотодыхание усиливается при низком содержании CO_2 в воздухе и высоком парциальном давлении кислорода. Молекулы диоксида углерода и кислорода конкурируют между собой за рибулезодифосфаткарбокксилазу. При относительно высокой концентрации CO_2 в клетке преобладает карбоксилирование рибулезодифосфата, тогда как низкое отношение CO_2/O_2 благоприятствует окислению этого субстрата с образованием гликолевой кислоты. После ряда преобразований гликолевая кислота превращается в аминокислоту глицин, которая окисляется с образованием серина и освобождением CO_2 . В

процессе фотодыхания расходуется от 20 до 50 % первичных продуктов фотосинтеза, и на соответствующую величину уменьшается видимая интенсивность последнего. Конкуренция CO_2 и O_2 за ребулезодифосфаткарбоксилазу и связанное с этим фотодыхание приводят к наличию у C_3 -растений углекислотного компенсационного пункта фотосинтеза, ниже которого видимый баланс ассимиляции и диссимиляции CO_2 становится отрицательным.

Цикл Кальвина является основным способом ассимиляции CO_2 , но не единственным. В природе существует группа растений, у которых первичными продуктами фиксации CO_2 и восстановления являются четырехуглеродные соединения. Их называют *C_4 -растениями*. Схема цикла темновых реакций у них получила название *цикла Хетча-Слэка*. У C_4 -растений акцептором CO_2 служит фосфоенолпировиноградная кислота (ФЕП), а карбоксилирующим ферментом является фосфоенолпируваткарбоксилаза. В результате карбоксилирования ФЕП образуется оксалоацетат и ортофосфат:



Для C_4 -растений характерны следующие особенности структуры: а) многочисленные воздушные полости, по которым воздух из атмосферы поступает непосредственно к фотосинтезирующим клеткам, обеспечивая тем самым эффективное поглощение углекислоты; б) двойной слой клеток обкладки сосудистых пучков, плотно упакованных вокруг проводящих пучков; в) клетки мезофилла, располагающиеся гораздо менее плотными слоями вокруг клеток обкладки сосудистых пучков; г) большое количество плазмодесм между клетками обкладки сосудистых пучков и клетками мезофилла.

Первыми обнаруживаемыми в клетках мезофилла продуктами фотосинтеза у C_4 -растений являются не трехуглеродные соединения, а четырехуглеродные, главным образом, аспарагиновая, яблочная и щавелевоуксусная кислоты. В таком виде ассимилированный углерод переносится из клеток мезофилла в хлоропласты клеток обкладки сосудистых пучков, где CO_2 вновь освобождается, а затем повторно ассимилируется в фотосинтезе по C_3 -пути. Но при декарбоксилировании освобождается лишь половина того восстановительного потенциала, который необходим для ассимиляции одной молекулы диоксида углерода.

Таким образом, C_4 -растения вынуждены расходовать на фиксацию одной молекулы CO_2 дополнительно две молекулы АТФ и, следовательно, больше квантов поглощенного света, чем C_3 -растения. C_4 -путь создает накачку CO_2 и обеспечивает более высокую его концентрацию для конечного фотосинтеза по C_3 -пути по сравнению с той, которая устанавливается диффузией его в лист из воздуха. В результате CO_2 перестает лимитировать фотосинтез, образование гликолевой кислоты и фотодыхание подавляется. Следствием является рост видимой интенсивности фотосинтеза у C_4 -растениями по сравнению с C_3 -растениями, находящимися в одинаковых условиях освещения. C_4 -растения могут при закрытых устьицах повторно использовать CO_2 фотодыхания. Закрытие устьичной щели в жаркие часы снижает испарение и существенно понижает транспирационный коэффициент C_4 -растений. Растения, ассимилирующие углерод по циклу Хетча-Слэка, хорошо адаптированы к сильной инсоляции, повышенным температурам и к засухе.

Известно, что примерно из 300 семейств цветковых растений только у 16 фотосинтез идет по C_4 -пути и у отдельных представителей. Сюда относятся 2 семейства однодольных растений: *Poaceae* (Злаки), *Syperaceae* (Осоки) и 14 семейств двудольных: *Acanthaceae*, *Aizoaceae*, *Amaranthaceae*, *Asteraceae*, *Boraginaceae*, *Capparidaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Euphorbiaceae*, *Nyctaginaceae*, *Polygonaceae*, *Portulacaceae*, *Scrophulariaceae*, *Zygophyllaceae*. Ни одно из семейств не относится целиком к C_4 -растениям.

Растения с C_4 -фотосинтезом хорошо растут при температуре 25–35°C, тогда как C_3 -растения – при температуре 15–25°C. Из числа злостных сорняков C_4 -растениями являются свинорой, просо куриное, щирица, пырей ползучий, марь белая, просо крупноплодное. К C_4 -растениям относят ряд культурных растений преимущественно тропического и субтропического происхождения – кукуруза, просо, сорго, сахарный тростник. В отношении риса и цидании однозначного мнения у отечественных и зарубежных ученых нет. Так, П.А. Генкель (1975) рис относит к C_3 -растениям. В частности он, характеризуя C_4 -растения, пишет: "Этот путь характерен для ксерофитных тропических растений, и лишь растения влажных местообитаний не имеют этого цикла (рис, бамбук)". Аналогичного мнения придерживаются Н.С. Мамушкина (1990), Дж. Эдвадс и Д. Уокер (1986). Правда последние два автора ссылаются на данные С.С. Black, Т.М. Chen, Р.Н. Brown (1969) и Н.Л. Shantz, L.N. Piemeisel (1927). Противоположное мнение по этому вопросу имеет известный российский физиолог В.И. Кефели (1991). В частности, описывая C_4 -путь фотосинтеза, он пишет: "Этот путь распространен у некоторых тропических растений, например, у просовидных злаков, ксерофитов из семейства Маревые, бамбука и риса". Ведущие физиологи растений В.В. Полевой (1988), Е.И. Кошкин и Н.В. Пильщикова (1999) данный вопрос оставляют открытым. В отношении принадлежности цидании к тому или иному типу фотосинтеза сведения в литературе отсутствуют.

Анатомические исследования поперечных срезов листьев показали, что по их строению пшеница, горох и люцерна являются типичными C_3 -растениями, а кукуруза, рис и цицания – C_4 -растениями (рис. 31; Шеджен А.Х., Харитонов Е.М., Фанян Г.Г. и др., 2000).

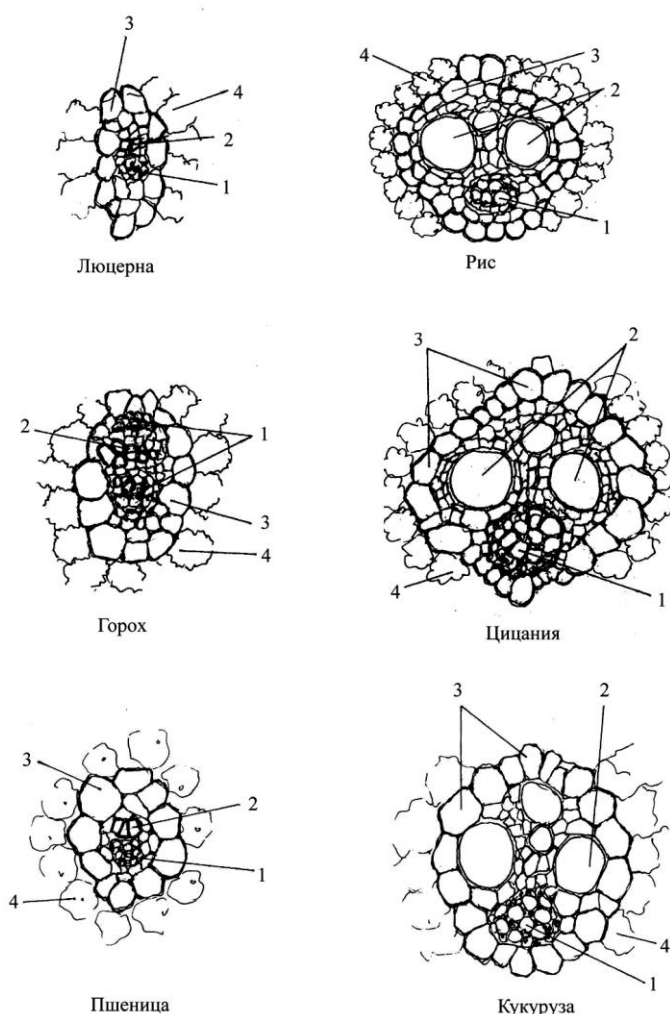


Рис. 31. Структурные особенности строения листа у C_3 - и C_4 -растений:
 C_3 -растения – люцерна, горох, пшеница; C_4 -растения – рис, цицания, кукуруза;
 1 – флоэма; 2 – ксилема; 3 – обкладка; 4 – мезофилл

Для кукурузы, риса и цицании было характерно: наличие многочисленных воздушных полостей, по которым воздух из атмосферы поступает непосредственно к фотосинтезирующим клеткам, обеспечивая тем самым эффективное поглощение углекислоты; двойной слой клеток обкладки сосудистых пучков, плотно упакованных вокруг проводящих пучков; клетки мезофилла, располагающиеся гораздо менее плотными слоями вокруг клеток обкладки сосудистых пучков; большое количество плазмодесм между клетками обкладки сосудистых пучков и клетками мезофилла. Таким образом, кукуруза, являющаяся классическим C_4 -растением, рис и цицания имеют совершенно одинаковое, четко отличающееся от типичных C_3 -растений гороха, люцерны и пшеницы структурные особенности строения листа. Это дает основание отнести рис и цицанию к C_4 -растениям. Сказанное подтверждается и обнаруженными нами более высокими значениями интенсивности фотосинтеза у риса, кукурузы и цицании по сравнению с пшеницей, горохом и люцерной.

Знание механизма фотосинтеза, способов регулирования этого важнейшего процесса обмена веществ и изыскание приемов, направленных на значительное повышение коэффициента использования электромагнитной энергии Солнца, являются важнейшим способом увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур.

5.1.2. Экология фотосинтеза

Интенсивность фотосинтеза определяется, с одной стороны, внешними факторами – концентрацией углекислого газа в воздухе, притоком воды и питательных веществ, температурой окружающей среды, интенсивностью и спектральным составом света, загрязненностью воздуха и присутствием в нем ядовитых веществ, ветровым режимом поля, а с другой – генетически обусловленными параметрами архитектоники и свойств растения – структурой листа, количеством хлорофилла в нем и скоростью оттока ассимилятов, наличием участвующих в фотосинтезе ферментов, числом устьиц, степенью экологической приспособленности к условиям произрастания.

5.1.2.1. Интенсивность и спектральный состав света

Свет является источником энергии для транспорта электронов и восстановления диоксида углерода. Это прямое влияние света на фотосинтез, его субстратная роль. Кроме того, он косвенно воздействует на интенсивность фотосинтеза, регулируя степень открытия устьиц. Поэтому увеличение интенсивности освещения должно сопровождаться повышением фотосинтетической активности растений. При этом прямая зависимость фотосинтеза от интенсивности освещения наблюдается лишь до так называемой *компенсационной точки*, т. е. до освещенности, при которой поглощение диоксида углерода при фотосинтезе и его освобождение при дыхании уравниваются друг друга (рис. 32; Беликов П.С., Дмитриева Г.А., 1992). Компенсационная точка освещенности для большинства растений равна приблизительно 10 тыс. лк. При дальнейшем ее увеличении темпы повышения интенсивности фотосинтеза постепенно ослабевают и при 30-50 тыс. лк перестают возрастать. Происходит так называемое *светонасыщение*, т. е. свет перестает быть лимитирующим фактором фотосинтеза.

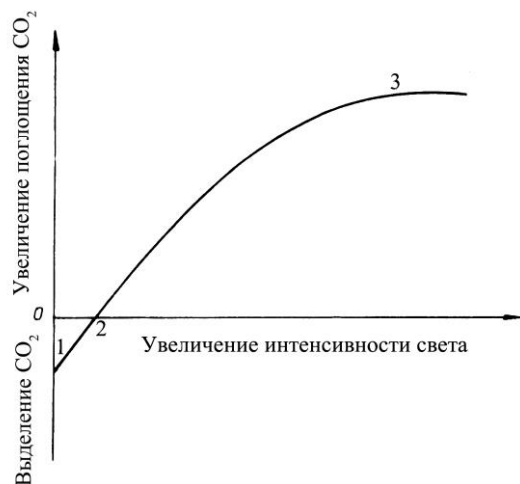


Рис. 32. Зависимость интенсивности фотосинтеза от освещенности

- 1 – скорость выделения CO₂ в темноте (скорость дыхания);
2 – компенсационная точка фотосинтеза; 3 – состояние светового насыщения

Помимо интенсивности света, для фотосинтеза важен и его спектральный, т. е. качественный состав. Скорость фотосинтеза при освещении светом с различной длиной волн, но выровненных по количеству энергии, различна. Наиболее высока интенсивность фотосинтеза в красной, а низка – в синей и зеленой

частях спектра. Установлено, что качество света влияет не на первичные фотохимические реакции, а на дальнейшее превращение промежуточных продуктов и направленность процесса фотосинтеза. Коротковолновый свет способствует образованию аминокислот, белков, органических кислот, а освещение длинноволновыми лучами – синтезу и накоплению углеводов. Свет, возбуждая или инактивируя фотореакции, регулирующие отдельные звенья обмена веществ растений и создавая преимущественные условия для образования каких-то метаболитов, влияет в конечном итоге на морфогенез и продуктивность растений. Наиболее благоприятные условия для интенсивного фотосинтеза создаются при освещении растений естественным светом с широким спектром.

5.1.2.2. Концентрация диоксида углерода и кислорода

Диоксид углерода участвует только в темновой фазе фотосинтеза, но выполняет двойную роль. Во-первых, он является источником углерода для синтеза органических веществ (субстратная роль), а во-вторых, регулирует степень открытия устьиц. Концентрация в воздухе составляет 0,03 %, что соответствует 0,57 мг CO_2 на 1 л воздуха, или 300 мкл/л. Одним квадратным метром листовой поверхности со средней продуктивностью ассимиляции вырабатывается в течение часа 1 г углеводов и используется для этого около 1,5 г CO_2 , т.е. его запас в ближайших 3 м³ воздуха. В наибольшей степени интенсивность фотосинтеза возрастает при повышении концентрации CO_2 в воздухе до 0,1 % (рис. 33 Фридрих Г., 1983). При дальнейшем увеличении содержания CO_2 в воздухе интенсивность фотосинтеза продолжает еще возрастать, но в меньшей степени. При достижении углекислотного насыщения этот фактор перестает быть лимитирующим интенсивность фотосинтеза.

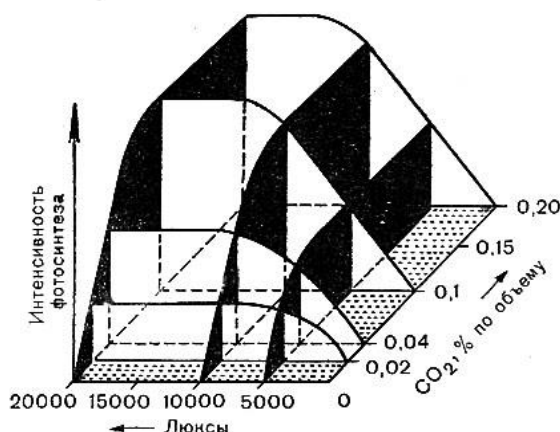


Рис. 33. Зависимость интенсивности фотосинтеза от освещенности и содержания CO_2 в воздухе

Процесс фотосинтеза обычно осуществляется в аэробных условиях при концентрации кислорода 21 %. Увеличение содержания или отсутствие кислорода для фотосинтеза неблагоприятны. Еще в первой половине XX столетия О. Варбургом было установлено, что выделение O_2 и поглощение CO_2 падают по мере повышения содержания кислорода в атмосфере. Это явление назвали именем открывателя – "*эффект Варбурга*". Он широко распростра-

нен у C_3 -растений. Природа этого феномена связана с оксигеназными свойствами основного фермента цикла Кальвина – рибулозо–1,5–дифосфат-карбоксилазы (РДФ-карбоксилазы). При большей концентрации кислорода начинается фотодыхание. Установлено, что при снижении концентрации кислорода до 2–3 % фосфогликолат не образуется, исчезает и эффект Варбурга. Кроме того, при высокой концентрации кислорода в атмосфере может происходить во время световой фазы псевдоциклическое фосфорилирование, что приводит к восстановлению кислорода воздуха с образованием воды вместо восстановления НАДФ⁺. Уменьшение количества восстановленных молекул последнего приводит к торможению темновой фазы фотосинтеза.

5.1.2.3. Температура

Температура оказывает влияние на ход всех без исключения физиологических процессов, происходящих в растительном организме, в т. ч. на интенсивность фотосинтеза. Температура влияет в основном на темновую фазу фотосинтеза, регулируя активность ферментов и скорость диффузии диоксида углерода. Ее влияние на световую фазу меньше, т. к. поглощение света, миграция энергии не зависят от температуры при тех ее значениях, при которых возможна жизнь. При повышении температуры выше оптимального значения нарушается фотосинтетическое фосфорилирование. Температура влияет на фотосинтез и косвенно, изменяя скорость оттока ассимилятов из листовой пластинки в другие органы, а накопление ассимилятов в листовой пластинке замедляет фотосинтез. Общая зависимость фотосинтеза от температуры выражается одновершинной кривой, которая имеет три основные температурные точки: максимум, оптимум, минимум. Оптимум температуры для фотосинтеза лежит у разных растений в пределах 25–35 °С. При постепенном повышении температуры до этих значений интенсивность фотосинтеза возрастает, а дальнейшее ее нарастание вызывает ингибирование этого процесса. Высокая температура усиливает транспирацию, вызывая водный дефицит, вследствие чего закрываются устьица и сокращается снабжение хлоропластов углекислотой. Слабая интенсивность фотосинтеза, имеющая место при низких температурах, обусловлена незначительным поглощением воды, что также приводит к закрыванию устьиц. У растений, естественно произрастающих или специально выращиваемых в местах с резко меняющейся температурой, в ответ на изменение температуры обычно наблюдается адаптация фотосинтеза к соответствующим условиям роста. Она проявляется как в различной способности к фотосинтезу в данных температурных пределах, так и в смещении пределов температурной устойчивости листа либо к высоким, либо к низким значениям. Подобно физиологической реакции на яркое или слабое освещение приспособительные реакции могут быть индуцированы факторами окружающей среды или закреплены генетически (рис. 34, 35; Орт Д., Меландри Б., Юнге В. и др., 1987).

Изменение одного из температурных пределов обычно сопровождается ослаблением приспособительной реакции на противоположную крайнюю температуру. Приспособление к высокой температуре, по крайней мере, отчасти, связано с повышением температурной устойчивости мембран хлоропластов, тогда как приспособление к низкой температуре частично обусловлено усилением активности ферментов лимитирующих интенсивность фотосинтеза. Правда, у растений могут одновременно изменяться количество ферментов и термостойкость мембран хлоропластов.

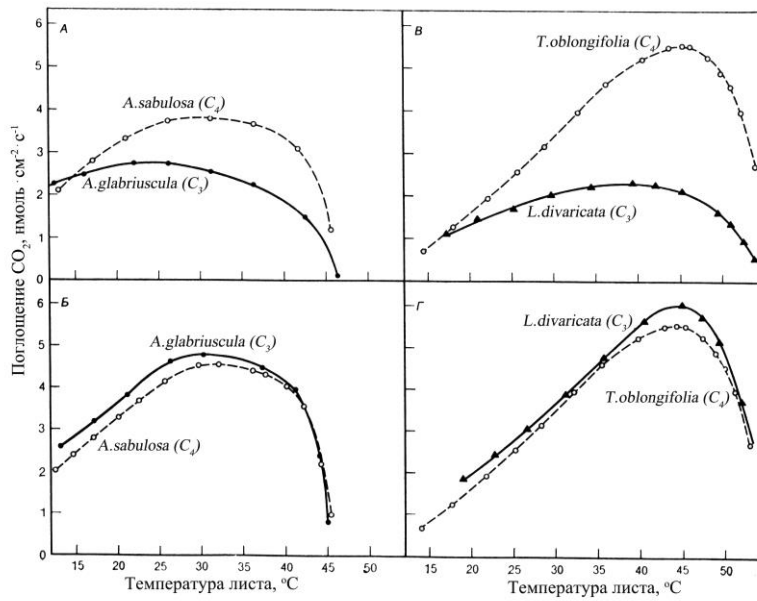


Рис. 34. Температурная зависимость ассимиляции CO₂ при парциальных давлениях CO₂ 330 мкбар (A, B) и 1000 мкбар (B, Г) выбранных пар C₃- и C₄-видов, выращенных при низких (A, B) или высоких (B, Г) температурах. C₄-вид *Atriplex sabulosa* и C₃-вид *Atriplex glabriuscula* были выращены при 16°C. C₄-вид *Tidestromia oblongifolia* и C₃-вид *Larrea divaricata* были выращены при 45°C.

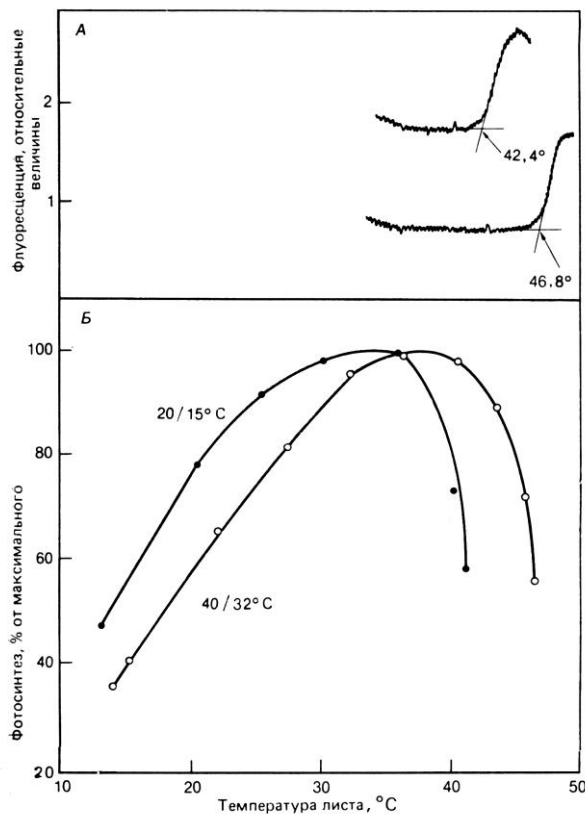


Рис. 35. Изменения температурной зависимости поглощения CO₂ *Geraea canescens*, выращенной при температурах 20 или 40°C (Б) и высоком парциальном давлении CO₂ (1000 мкбар). Кривые флуоресценции хлорофилла а для тех же листьев этих растений (А).

Растения различаются по способности приспосабливаться к изменениям температуры окружающей среды. В ответ на изменение температуры произрастания растения из мест обитания с более стабильными температурными условиями, как правило, имеют меньшую способность к изменению термостабильности мембран хлоропластов. Имеются различия по отношению к изменяющимся температурам окружающей среды у C_3 - и C_4 -растений. Большинство видов C_3 -растений акклиматизируются и растут при низкой температуре без существенного снижения интенсивности фотосинтеза. C_4 -метаболизм частично рассматривают как механизм адаптации фотосинтеза к высокой температуре. Основанием для этого является высокая интенсивность фотосинтеза C_4 -видов при насыщающих и лимитирующих рост интенсивностях света и при температуре, превышающей 30°C . Кроме того, преимущества C_4 -растений, проявляющиеся при высоких температурах, могут быть связаны с большей по сравнению с C_3 -растениями экономией воды.

5.1.2.4. Водный режим

Вода непосредственно участвует в фотосинтезе как субстрат окисления и источник кислорода. Кроме того, интенсивность фотосинтеза определяется величиной оводненности листьев, от которой зависит степень открывания устьиц и, следовательно, поступления диоксида углерода в лист. Зависимость интенсивности фотосинтеза от степени оводненности листа выражается *величиной дефицита насыщения*, отражающей то количество воды, которого не хватает растению для полного насыщения. Максимальной интенсивности фотосинтеза достигает при очень низких показателях дефицита – порядка 5-10 % от полного насыщения (рис. 36; Тарчевский И.А., 1977).

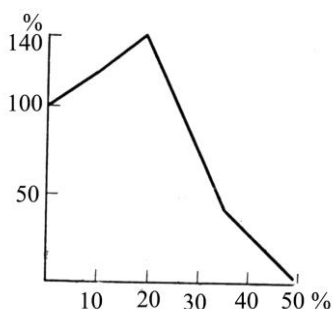


Рис. 36. Зависимость интенсивности фотосинтеза листьев от содержания в них воды: на оси абсцисс – величина обезвоживания листьев в процентах от полного насыщения их водой, на оси ординат – интенсивность фотосинтеза в процентах.

Этот факт еще в 1925 г. обнаружила В.А. Бриллиант, и впоследствии он получил название "*эффект Бриллиант*". Это явление носит приспособительный характер и объясняется тем, что состояние насыщения водой листьев является обычным для наземных растений. При полном насыщении устьица заполняются водой, закрываются и интенсивность фотосинтеза падает до нуля. В условиях засухи чрезмерная потеря воды растением также вызывает закрытие устьиц, что в свою очередь резко уменьшает диффузию диоксида углерода в лист. Кроме того, это вызывает сокращение транспирации; как следствие, температура листьев возрастает. Ее повышение выше 30°C вызывает снижение интенсивности фотосинтеза. Наконец, обезвоживание оказывает влияние на конформацию, а следовательно, и активность ферментов, принимающих участие в темновых реакциях фотосинтеза.

5.1.2.5. Ветровой режим

При полном отсутствии ветра может наступить истощение запасов диоксида углерода в приземном слое воздуха. Поэтому легкое движение воздуха стимулирует фотосинтез. Оптимальные параметры фотосинтеза отмечаются при скорости ветра, равной приблизительно 100 м/мин. При более высоких скоростях ветра наблюдается снижение интенсивности фотосинтеза из-за усиления транспирации, сопровождающегося смыканием устьиц.

5.1.2.6. Засоление почвы

Долю общей глобальной продукции, приходящуюся на засоленные земли, можно оценить, принимая во внимание уже тот факт, что из общей площади $160 \cdot 10^6$ га, используемой для орошаемого земледелия, одна треть засолена. Растения, употребляемые в пищу человеком, как правило, чувствительны к высокой концентрации солей в почве, причем особенно остро проблема засоления стоит в семиаридных зонах, где почвы либо частично уже засолены, либо могут стать засоленными в результате ирригации.

Большинство растений способно к регуляции осмотического давления в целях сохранения необходимого градиента водного потенциала по отношению к солевому почвенному раствору, т. е. солевой стресс у них не вызывает существенных нарушений в фотохимических и биохимических реакциях фотосинтеза. Однако не у всех видов и не у всех частей растений адаптация* на уровне осмотического давления проявляется достаточно полно. В водном обмене растений могут возникать серьезные осложнения, особенно если уровень засоления почвы меняется в период вегетации растения. Как правило, в условиях засоления процесс фотосинтеза ингибируется и рост растений замедляется, хотя благодаря изменению осмотического давления тургор сохраняется. Осмотические перестройки, как установлено экспериментально, не успевают за изменениями объема и массы растущих клеток в фазе растяжения. Препятствующее нормальному растяжению клеток субоптимальное тургорное давление приводит к ограничению увеличения площади листа, т. е. размера фотосинтетического аппарата растений. Иначе говоря, рост может задерживаться, даже если засоление не влияет на интенсивность фотосинтеза. Кроме того, засоление может в значительной степени изменять интенсивность дыхания, что существенно сказывается на процессе фотосинтеза.

5.1.2.7. Минеральное питание

Элементы минерального питания могут влиять на интенсивность фотосинтеза прямо или косвенно, через обмен веществ и рост. Их действие на фотосинтез связано с тем, что минеральные вещества входят в состав ферментов и пластидных пигментов или непосредственно участвуют в процессе фотосинтеза в качестве активаторов. Кроме того, отдельные элементы минерального питания могут оказывать значительное влияние на фотосинтез, изменяя коллоидное состояние цитоплазмы.

Положительное влияние азота может объясняться прямым и косвенным действием. Прямое действие заключается в использовании этого элемента на

* Адаптация – совокупность реакций растений, поддерживающих их приспособление к изменяющимся условиям существования от кратковременных ответных реакций до генетических изменений, закрепленных естественным отбором, обеспечивающих устойчивость к различным условиям внешней среды на всем протяжении онтогенеза и обуславливающих возможность существования отдельных индивидуумов и сохранения вида.

образование аминокислот – продуктов фотосинтеза. Косвенное – объясняется тем, что азот необходим для биосинтеза пластидных пигментов, а также белков, являющихся с одной стороны элементами структуры хлоропластов и, с другой, ферментами, катализирующими различные реакции процесса фотосинтеза. Немалое значение здесь имеет и вхождение азота в состав нуклеиновых кислот, от которых зависит синтез белков.

Повышение интенсивности фотосинтеза под влиянием фосфора может также быть вызвано прямым и косвенным действием. Прямое определяется тем, что остатки фосфорной кислоты входят в состав акцептора CO_2 и промежуточных продуктов фотосинтеза. Кроме того, с помощью световой энергии из неорганического фосфата и АДФ синтезируется аденозинтрифосфат (АТФ), участвующий в реакциях восстановления диоксида углерода. Косвенное заключается в том, что фосфаты входят в состав фосфатидов и фосфопротеидов, а также нуклеиновых кислот. Необходимо отметить, что фосфаты повышают интенсивность как фотохимических, так и темновых реакций фотосинтеза.

Влияние калия на фотосинтез многогранно. При недостатке этого элемента интенсивность фотосинтеза снижается уже через короткое время. Калий может влиять на фотосинтез косвенно через повышение оводненности цитоплазмы, ускорение оттока ассимилятов из листьев, увеличение степени открытия устьиц. Вместе с тем имеет место и прямое влияние калия, поскольку он активирует процессы фосфорилирования.

Помимо азота, фосфора и калия для нормального функционирования фотосинтетического аппарата нужны сера, кальций, магний, кремний, железо и микроэлементы. Магний входит в состав хлорофиллов, участвует в деятельности сопрягающих белков при синтезе АТФ, влияет на активность реакций карбоксилирования и восстановления НАДФ⁺. Вследствие всего этого его недостаток нарушает процесс фотосинтеза. Сера является обязательным компонентом белков и сульфоллипидов. Она входит в состав ферментов, катализирующих окислительно-восстановительные реакции, в состав сопрягающего фактора; ферментов, катализирующих реакции усвоения диоксида углерода. Железо в восстановленной форме необходимо для процессов биосинтеза хлорофилла, цитохромов, ферредоксина и феофитина. Недостаток этого элемента нарушает функционирование циклического и нециклического фотофосфорилирования, биосинтез пластидных пигментов и изменяет структуру хлоропластов. Кремний оказывает положительное влияние на размеры фотосинтетического аппарата и создает благоприятные условия для биосинтеза и функционирования пластидных пигментов. У растений, обеспеченных кремнием, эффективнее работают молекулярные "ловушки" лучистой энергии, расположенные в тилакоидах хлоропластов, что приводит к усилению фотосинтеза. В данном случае к молекулярным эффектам добавляется влияние на механическую прочность тканей, что препятствует полеганию растений и способствует выпрямлению листьев. Вследствие этого растения и отдельные листья не затеняют друг друга, снижается их конкуренция за свет и возрастает суммарная эффективность фотосинтеза. Кальций необходим для поддержания структуры и функциональной активности хлоропластов.

Отсутствие марганца резко угнетает реакцию Хилла и процесс нециклического фотофосфорилирования. Все это доказывает, что роль марганца определяется его участием в реакциях фотоокисления воды. В реакциях фотоокисления воды необходим также хлор. Медь непосредственно входит в состав пластоцианина, поэтому ее дефицит у растений вызывает резкое снижение интен-

сивности фотосинтеза. В растениях бор улучшает углеводный, белковый и нуклеиновый обмен. При его недостатке нарушается синтез, превращение и передвижение углеводов. Цинк входит в состав цинкпротопорфирина, являющегося предшественником магний- и железопорфирина. Кобальт оказывает положительное влияние на устойчивость хлорофилл-белково-липидного комплекса, тем самым обеспечивает благоприятные условия для фотосинтетической активности хлорофилла. Он способствует более интенсивному оттоку ассимилятов из листьев и проводящей системы в стебли, корни и репродуктивные органы, тем самым создает благоприятные условия для фотосинтеза. Молибден, способствует синтезу белков, увеличивает содержание в листьях пластидных пигментов, тем самым усиливает интенсивность фотосинтеза. Таким образом, сбалансированное минеральное питание является основным условием высокой фотосинтетической активности растения.

5.1.2.8. Антропогенное загрязнение атмосферы

Попадание в атмосферу токсичных газов антропогенного происхождения или выделяющихся из вулканов заметно сказывается на растительных организмах, причем, судя по всему, процесс антропогенного загрязнения в будущем будет усиливаться. Действие загрязнителей на растения является функцией сложного комплекса метеорологических условий и факторов, зависящих от самого растения. Изменения фотосинтетической активности листьев служат быстрым и чувствительным показателем их повреждения веществами, загрязняющими окружающую среду, т. к. первой мишенью их действия, как правило, являются фотосинтетические реакции. Вещества, загрязняющие атмосферу, и разнообразные химические препараты, используемые для уменьшения транспирации, а также для борьбы с болезнями, вредителями и сорняками часто заметно понижают фотосинтез. Действие этих соединений на фотосинтез проявляется в: 1) засорении устьиц и задержке поглощения диоксида углерода; 2) изменении оптических свойств листьев, вследствие чего изменяется отражение и уменьшается проникновение света; 3) изменении теплового баланса листьев; 4) изменении метаболизма листьев; 5) изменении анатомического строения листьев. Кроме того, фотосинтез понижается под влиянием химических препаратов, вызывающих механические повреждения, хлороз, побурение листьев или листопад.

5.1.2.9. Обеспеченность фотосинтетического аппарата пластидными пигментами

Основной предпосылкой для фотосинтеза является наличие пигментов в хлоропластах. Повышенная обеспеченность фотосинтетического аппарата пластидными пигментами (хлорофилл **a**, хлорофилл **b**, каротиноиды) создает благоприятные условия для интенсивного фотосинтеза. Наиболее интенсивно идут фотосинтетические процессы у растений, обеспеченных достаточным количеством пластидных пигментов, в утренние и вечерние часы, когда температура воздуха умеренная, напряжение водного фактора невысокое и нет перегрева растений. Среди пигментов наиболее важным для фотосинтеза является хлорофилл. Его количество колеблется в пределах 2-6 мг на 0,01 м² площади листьев, что примерно соответствует 0,5-2,0 % сухого вещества листа. Однако прямой пропорциональной связи между интенсивностью фотосинтеза и содержанием в листьях хлорофилла не выявлено. В 1918 г. Р. Вильштеттер и А. Штоль ввели понятие ассимиляционного числа. *Ассими-*

ляционная число – это количество CO_2 в миллиграммах, усвоенное на единицу содержания хлорофилла. Так, например, при увеличении содержания хлорофилла с 0,7 до 15,6 мг/г сырой массы, т. е. более чем в 20 раз, интенсивность фотосинтеза увеличивается всего лишь в 2 раза. Соответственно ассимиляционная число снижается в 10 раз. Недостаток хлорофилла может лимитировать интенсивность фотосинтеза лишь в загущенных посевах, где растения испытывают недостаток света, а также при недостатке азота.

Величина интенсивности фотосинтеза зависит от типа восстановления диоксида углерода. У C_3 -растений она равняется 20–40 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$, у C_4 -растений – 50–100, у растений типа CAM^* – 3–20 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$

5.2. Дыхание

Дыхание – одно из наиболее характерных свойств живой материи; оно присуще любому органу, любой ткани, каждой клетке. В нашем сознании дыхание обычно ассоциируется с жизнью, а его прекращение – со смертью организма.

П.С. Беликов, Г.А. Дмитриева, 1992

5.2.1. Физиология и биохимия дыхания

Дыхание – обязательное условие жизни растений. Оно представляет собой окислительный распад органических веществ, синтезированных в процессе фотосинтеза, протекающий с потреблением кислорода и выделением углекислого газа. Скорость, с которой происходит этот процесс, называется *интенсивностью дыхания* (ИД) и определяется количеством поглощенного кислорода или выделенного углекислого газа за единицу времени на 1 г сухого вещества. Дыхание является своеобразным фокусом, объединяющим фотосинтез и минеральное питание растения. Образующие в результате дыхания катионы водорода и анионы угольной кислоты служат "обменным фондом" на самом первом этапе поступления питательных элементов из почвы в клетки корня. Энергия, вырабатываемая в этом процессе, используется растением для активного поглощения ионов через плазмалемму клетки. Велико значение и корневых выделений, образующихся в результате дыхания. В большинстве случаев являясь слабыми органическими кислотами, при поступлении в почву они повышают подвижность и доступность растениям элементов минерального питания.

Необходимо отметить, что все без исключения экзергонические реакции дыхания непосредственно связаны с *эндергоническими процессами*** клеточного обмена и служат для них источником энергии, которая обеспечивает образование клеточных структур, требующих ее затрат. Кроме того, лабильные соединения, возникающие как промежуточные продукты в процессе дыхания, являются субстратом для синтетических реакций.

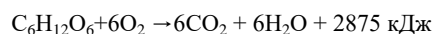
* Тип фотосинтеза характерный для растений из семейства толстянковых (*Crassulaceae*). Получил название *кислотного метаболизма толстянковых* (*Crassulacean acid metabolism*). CAM – фотосинтез, так же как и C_4 -фотосинтез, связан с обменом органических кислот. Однако в отличие от C_4 -растений, у которых реакции синтеза органических кислот и цикла Кальвина разделены в пространстве (первые проходят в клетках мезофилла, вторые в клетках обкладки), у толстянковых эти реакции разделены во времени. Первичная фиксация диоксида углерода у суккулентов происходит ночью, когда устьица открыты, а днем, уже при закрытых устьицах, осуществляются реакции цикла Кальвина.

** Эндергонический процесс – процесс, идущий с поглощением энергии.

Основными веществами, подвергающимися окислительному распаду в растениях, служат углеводы. Из их числа наиболее реакционноспособны глюкоза и фруктоза. Помимо углеводов субстратами дыхания могут быть белки и жиры, причем для этих групп веществ известны свои пути окислительных превращений. Однако их использование в процессах окисления, по своему удельному весу, не идет ни в какое сравнение с той огромной ролью, которую играют углеводы в качестве субстрата дыхания. В связи с этим, при изложении процесса дыхания будем ограничиваться рассмотрением окислительных превращений глюкозы.

Дыхание представляет собой сложную многозвенную систему окислительно-восстановительных процессов. При упрощенном изложении фактов и "глобальном" обобщении отдельных этапов, ход диссимиляционных процессов, их значение для поглощения, передвижения и превращения питательных веществ, а также для поддержания жизни вообще не поддаются сколько-нибудь целостному восприятию. Необходимо пусть не исчерпывающее, но достаточно глубокое знание дыхательного цикла, который может обуславливать в тех или иных условиях как оптимальный, так и крайне неэкономичный энергетический баланс в организме. Крайне важно иметь достаточно полное представление о дыхании как об источнике энергии для осуществления процессов поглощения питательных элементов растениями, чтобы, используя различные агроприемы, создавать оптимальные условия для формирования высокого урожая. В связи с этим и учетом того, что дыхание всесторонне излагается в курсе физиологии и биохимии растений, приведем здесь лишь основные стадии этого процесса.

Процесс дыхания можно выразить уравнением:



При полном окислении одной грамм-молекулы гексозы поглощается 6 молекул кислорода, выделяется эквивалентное количество диоксида углерода и воды и освобождается 2875 кДж энергии. Это уравнение говорит лишь о начальном и конечном звеньях дыхания, но не дает представления о его промежуточных стадиях. Процесс дыхания включает три стадии: гликолиз, цикл Кребса и электрон-транспортную цепь (ЭТЦ).

Гликолиз или цикл Эмбдена-Мейерхофа-Парнаса – это анаэробный процесс, происходящий в цитоплазме, состоит из девяти последовательных реакций, каждая из которых катализируется специфическим ферментом (рис. 37; Ревн П., Эверт Р., Айкхорн С., 1990). В результате этих реакций глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты (ПВК).

Реакция 1. Первая реакция гликолиза требует энергетических затрат. Необходимая для ее активации энергия выделяется при гидролизе АТФ (АТР) до АДФ (АДР). Концевая фосфатная группа молекулы АТФ переносится на молекулу глюкозы с образованием глюкозо-6-фосфата. Этот процесс катализируется ферментом гексокиназой.

Реакция 2. Молекула шестиуглеродного кольца глюкозо-6-фосфата под действием фермента фосфоглюкоизомеразы превращается в пятиуглеродное кольцо фруктозо-6-фосфата.

Реакция 3. Под действием фермента фосфотриозкиназы остаток фосфорной кислоты от АТФ присоединяется к первому углеродному атому молекулы фруктозо-6-фосфата. В результате этой реакции образуется фруктозо-1,6-дифосфат.

Реакция 4. Молекула фруктозо-1,6-дифосфата при участии фермента альдолазы расщепляется на две молекулы фосфотриоз: дигидроксиацетонфосфат и глицеральдегид-3-фосфат. Дигидроксиацетонфосфат под действием фермента фосфатриозоизомеразы полностью превращается в глицеральдегид-3-фосфат.

Реакция 5. Две молекулы глицеральдегид-3-фосфата под действием фермента глицеральдегид-3-фосфат дегидрогеназы окисляются, т.е. отдают атомы водорода с их электронами, и в результате НАД превращается в НАДН₂. Это первая из двух реакций, которые приводят к запасанию энергии. В результате данной реакции образуются две молекулы глицерат-1,3-бисфосфата.

Реакция 6. Глицерат-1,3-бисфосфат передает при участии фермента глицерат-3-фосфаткиназы один остаток фосфорной кислоты молекуле АДФ, которая превращается в АТФ, при этом образуется глицерат-3-фосфат. Это высокоэнергетическая реакция, и она стимулирует протекание всех предыдущих реакций гликолиза.

Реакция 7. Глицерат-3-фосфат под влиянием фермента фосфоглицератмутазы превращается в глицерат-2-фосфат.

Реакция 8. Под воздействием фермента енолазы от молекулы глицерат-2-фосфата отщепляется молекула воды и превращается в фосфоенолпировиноградную кислоту (фосфоенолпируват). В результате такой внутримолекулярной перестройки образуется высокоэнергетическая фосфатная связь.

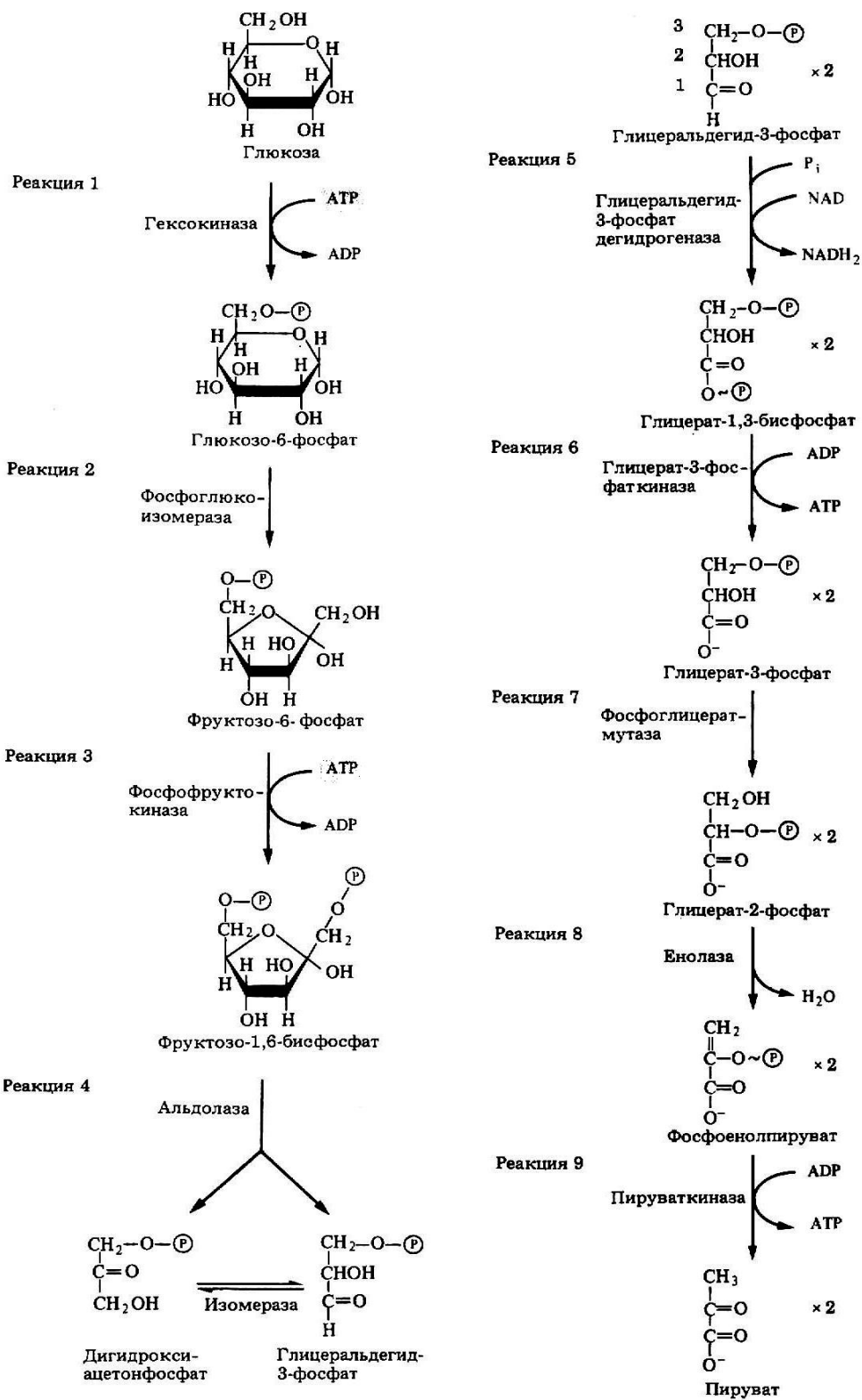


Рис. 37. Реакции гликолиза

Реакция 9. Фосфоенолпировиноградная кислота под воздействием фермента пируваткиназы передает остаток фосфорной кислоты, содержащий высокоэнергетическую связь, молекуле АДФ. При этом образуются АТФ и молекула енолпировиноградной кислоты, которая весьма нестойка и превращается в более устойчивую кетоформу пировиноградной кислоты (пируват).

Образованием пировиноградной кислоты завершается гликолитическое расщепление глюкозы. Пировиноградная кислота (пируват) является ключевым соединением в энергетическом метаболизме клетки и может быть утилизирована различными путями. Выбор пути утилизации пирувата зависит от условий метаболизма и особенностей клетки. В отсутствие кислорода пировиноградная кислота превращается в молочную кислоту или в этанол и диоксид углерода. Этот анаэробный процесс, называемый **брожением**, дает две молекулы АТФ на каждую молекулу глюкозы. В присутствии кислорода пировиноградная кислота окисляется до диоксида углерода и воды, и гликолиз в данном случае является лишь начальной фазой дыхания. Окисление пировиноградной кислоты до CO_2 и H_2O проходит последовательно с образованием ди- и трикарбоновых кислот, поэтому называется **циклом ди- и трикарбоновых кислот**, или **циклом Кребса***, которым завершается окисление продуктов распада углеводов, жиров и белков.

Цикл Кребса. В аэробных условиях пировиноградная кислота, образовавшаяся в результате гликолиза, диффундирует в митохондрии и полностью окисляется до диоксида углерода с образованием большого количества АТФ. Митохондрия – органоид клетки, ограниченный двойной мембраной, внутренняя образует складки, называемые **кристами** (рис. 38). Этот органоид обеспечивает организм энергией. В митохондриях содержатся ферменты цикла Кребса и электрон-транспортная цепь.

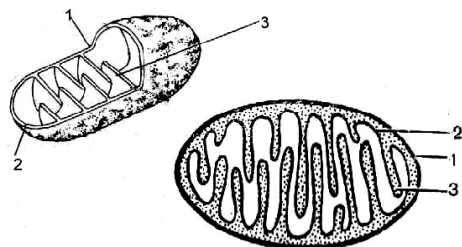


Рис. 38. Схематическое строение митохондрии:

1 – внешняя мембрана, 2 – внутренняя мембрана, 3 – кристы (складки, в которых идут превращения веществ)

Окисление пировиноградной кислоты происходит в два этапа: 1) окислительное декарбоксилирование пирувата до ацетил-СоА и 2) окисление остатка ацетил-СоА в цикле Кребса. Окислительное декарбоксилирование пировиноградной кислоты осуществляется при участии пируватдегидрогеназного мультиферментного комплекса, в состав которого входят три фермента и пять коферментов. Коферментами служат тиаминпиррофосфат (ТПФ) – фосфорилированное производное витамина B_1 , липоевая кислота, коэнзим А, ФАД и НАД. Пировиноградная кислота взаимодействует с ферментом тиаминпиррофосфат декарбоксилазой. При этом отщепляется CO_2 и образуется гидроксипропанное производное ТПФ, которое вступает в реакцию с окисленной формой липоевой кислоты. Дисульфидная связь липоевой кислоты разрывается и происходит окислительно-восстановительная реакция: гидроксипропанная группа, присоединенная к одному атому серы, окисляется до ацетильной, а второй атом серы липоевой кислоты восстанавливается. Образовавшаяся ацетиллипоевая кислота взаимодействует с коэнзимом А, возникают ацетил-СоА и восстановленная форма липоевой кислоты.

В результате окислительного декарбоксилирования пировиноградной кислоты образуются ацетил-СоА, CO_2 и НАДН. Ацетил-СоА вовлекается непосредственно в цикл Кребса, что происходит при его взаимодействии с шавелевоуксусной кислотой (рис. 39). В этой реакции под действием фермента цитратсинтетазы образуется лимонная кислота и освобождается молекула СоА. Процесс синтеза лимонной кислоты становится возможным благодаря энергии окисления ПВК. Дальнейшим превращениям в цикле подвергается не лимонная, а изолимонная кислота, которая образуется из лимонной через промежуточное образование цис-аконитовой.

Реакции превращения лимонной кислоты в цис-аконитовую и далее в изолимонную кислоту катализируются аконитазой. Изолимонная кислота под воздействием НАД-зависимой изоцитратдегидрогеназы окисляется в нестойкое соединение – шавелевую кислоту, которая сразу же декарбоксилируется с образованием α -кетоглутаровой кислоты. При этом образуется НАДН, а также первая в цикле и вторая после начала метаболизации пировиноградной кислоты молекулы CO_2 . Далее при окислительном декарбоксилировании α -кетоглутаровой кислоты

* Открыт в 1937 г. английскими биохимиками Х. Кребсом и У. Джонсоном.

с помощью α -кетоглутаратдегидрогеназного комплекса образуется НАДН, сукцинил-СоА в присутствии минерального фосфора (Р_м) и АДФ превращается в янтарную кислоту (сукцинат), что сопровождается образованием АТФ в процессе субстратного фосфорилирования. Далее янтарная кислота под влиянием сукцинатдегидрогеназы, коферментом которой служит ФАД, превращается в фумаровую с образованием НАДН₂. Во время реакции фумаровая кислота, реагируя с водой в присутствии фермента фумаратгидратазы, образует яблочную кислоту (малат), которая затем с помощью НАД-зависимой малатдегидрогеназы окисляется в щавелевоуксусную кислоту. Последняя самопроизвольно переходит в енольную форму, реагирует с очередной молекулой ацетил-СоА и цикл снова повторяется. Первый этап расщепления пирувиноградной кислоты и реакции цикла Кребса происходят в матриксе митохондрии.

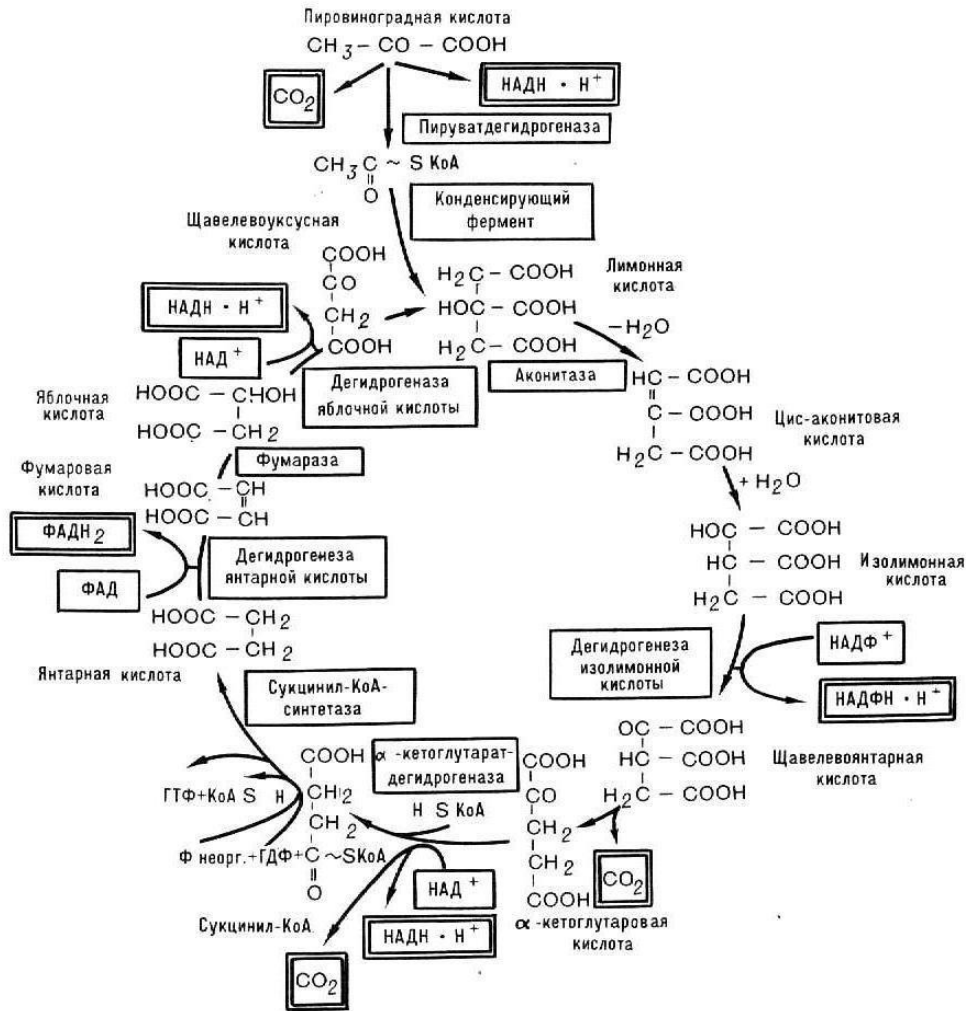


Рис. 39. Цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот)

Таким образом, в ходе цикла Кребса потребляется по одной молекуле ПВК, АДФ и ФАД, четыре НАД, две молекулы воды и синтезируются четыре молекулы НАДН, одна – АТФ, одна – ФАДН₂, две молекулы воды и выделяется три молекулы CO_2 .

Цикл Кребса функционирует только в аэробных* условиях, хотя кислород непосредственно не участвует в его реакции. Обходятся без кислорода и реакции гликолиза, а между тем, как известно, потребление кислорода – характерная черта процесса дыхания. Потребность в кис-

* Аэробный – требующий присутствия молекулярного кислорода.

лорде возникает на заключительном этапе процесса дыхания, связанном с окислением восстановленных коферментов никотинамидадениндинуклеотида (НАДН) и флавинадениндинуклеотида (ФАДН₂), в которых заключена в форме электронов значительная доля энергии, находившейся ранее в глюкозе.

Электрон-транспортная цепь. Высвобождение энергии происходит путем передачи электронов от НАДН и ФАДН₂ по электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) на свободный кислород, который служит терминальным акцептором электронов. Первым переносчиком электронов в ЭТЦ является НАД; вторым – флавиновые ферменты, третьим – цитохромы. В конце цепи электроны захватываются кислородом и объединяются с протонами (ионами водорода) с образованием молекулы воды.

Согласно современным представлениям, дыхательная ЭТЦ митохондрий включает в себя четыре основных мультиэнзимных комплекса и два небольших по молекулярной массе компонента – убихинон – липид, состоящий из бензохинона, соединенного с длинной гидрофобной изопреноидной боковой цепью, и цитохром С – белковая молекула, содержащая гем-железо-порфириновое кольцо (рис. 40; Шеуджен А.Х., 2000).

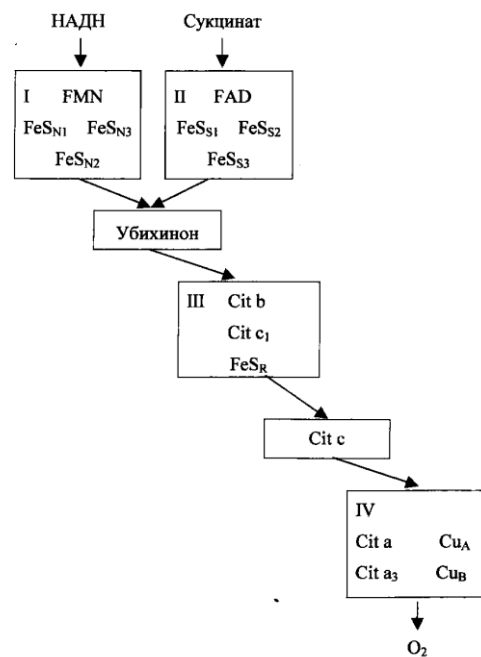
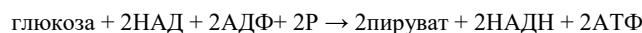


Рис. 40. Дыхательная электрон-транспортная цепь митохондрий

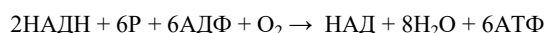
Комплекс I осуществляет перенос электронов от НАДН к убихинону Q. Его субстратом служат молекулы внутримитохондриального НАДН, восстановленные в цикле Кребса. В состав комплекса входит флавиномононуклеотид(ФМН)-зависимая НАДН: убихинон-оксидоредуктаза, содержащая три железосерных центра (FeS_{N1-3}). Комплекс II катализирует окисление сукцината убихиноном. Эту функцию осуществляют флавинадениндинуклеотид (ФАД)-зависимый сукцинат: убихинон-оксидоредуктаза, в состав которой входят три железосерных центра (FeS_{S1-3}). Комплекс III переносит электроны от восстановленного убихинона к цитохрому С, т. е. функционирует как убихинон:цитохром С-оксидоредуктаза. В своем составе он содержит цитохромы *b*₅₅₆ и *b*₅₆₀, цитохром С, и железосерный белок. В присутствии убихинона комплекс III осуществляет активный трансмембранный перенос протонов. В терминальном комплексе IV электроны переносятся от цитохрома С к кислороду, т.е. этот комплекс является цитохромоксидазным. В его состав входят четыре редокс-компонента: цитохромы *a* и *a*₃ и два атома меди. Цитохром *a*₃ и Cu_B способны взаимодействовать с O₂, на который передаются электроны с цитохрома *a*-Cu_A. Транспорт электронов через комплекс IV сопряжен с активным транспортом ионов H⁺.

Электрон-транспортная цепь локализована во внутренней мембране митохондрий и является связующим звеном между метаболитами цикла Кребса и кислородом воздуха. При дви-

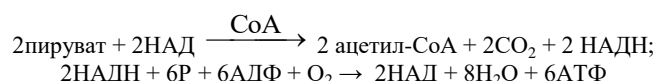
жении по электронтранспортной цепи электроны спускаются как по ступенькам "под гору" к кислороду. Выделяющаяся при этом энергия обеспечивает выкачивание протонов (ионов H^+) из матрикса митохондрий, что создает электрохимический градиент H^+ на внутренней мембране митохондрии. Когда протоны возвращаются обратно в матрикс через комплекс АТФ-синтетазы, выделяемая энергия используется для синтеза АТФ из АДФ и фосфата. Данный процесс называется окислительным фосфорилированием. Если подвести энергетический баланс процесса окисления молекулы глюкозы при аэробном дыхании, то получится следующая картина. Превращения глюкозы до пировиноградной кислоты в процессе гликолиза приводят к образованию двух молекул АТФ:



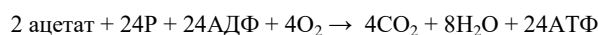
Окисление образовавшихся при этом двух молекул НАДН в процессе дыхания сопровождается фосфорилированием АДФ и возникновением шести молекул АТФ:



Окисление образовавшихся в процессе гликолиза двух молекул пировиноградной кислоты до ацетил-СоА сопровождается образованием двух молекул НАДН, при окислении которых возникает шесть молекул АТФ:



При полном окислении двух молей ацетил-СоА в цикле Кребса возникают 24 молекулы АТФ:



Таким образом, в итоге полного окисления молекулы глюкозы синтезируется 38 молекул АТФ. Все они, кроме двух, образуются в митохондриальных реакциях, все, кроме четырех, при окислении НАДН₂ и ФАДН₂. Принято считать, что энергия третьей сложноэфирной фосфатной связи АТФ равняется примерно 42 кДж/моль (10 ккал/моль). Следовательно, при полном окислении молекулы глюкозы до CO_2 и H_2O образуется 1591 кДж/моль (380 ккал/моль) энергии, в то время как изменение свободной энергии составляет 2872 кДж/моль (686 ккал/моль). Из этого следует, что эффективность использования энергии составляет $(386:686) \cdot 100 = 55\%$. Однако фактически она значительно ниже. Это связано как с состоянием самого растения, так и с изменением почвенно-климатических условий.

Дыхание начинается с расщепления глюкозы на две трехуглеродные молекулы пирувата (пировиноградной кислоты). В процессе дыхания молекулы пирувата в митохондриях превращаются в двухуглеродные ацетильные группы, которые включаются в цикл Кребса. В этом цикле ацетильные группы последовательно окисляются и высвобождаются в виде CO_2 , в то время как электроны от остальной части молекулы переносятся на кислород с образованием воды. При переносе электронов из цикла Кребса через НАД на кислород в трех участках (комплексы I, III, IV), где отмечается наибольший перепад энергии, окисление сопряжено с фосфорилированием. В процессе полного расщепления глюкозы образуется 38 молекул АТФ.

По поводу механизма окислительного фосфорилирования существуют три теории: химическая, конформационная и хемиосмотическая. В настоящее время наибольшим признанием пользуется *хемиосмотическая теория*. В ее основе лежит предположение, что окислительное фосфорилирование осуществляется благодаря протонному градиенту различной концентрации H^+ с двух сторон внутренней мембраны митохондрий, который появляется при транспорте электронов. Согласно этой концепции, протоны выкачиваются из митохондриального матрикса во внешнее митохондриальное пространство, тогда как электроны от НАДН₂ проходят по ЭТЦ, встроенной в митохондриальную мембрану. При этом протон направляется обратно в матрикс через диффузионный канал, содержащий большой ферментативный комплекс АТФ-синтетазы. Появляется электрохимический градиент H^+ на внутренней митохондриальной мембране, который и является движущей силой АТФ-азы, катализирующей фосфорилирование АДФ.

5.2.2. Экология дыхания

Рост и развитие растений зависят от соотношения интенсивностей дыхания и фотосинтеза, на которые влияют как внутренние, так и внешние факторы: возраст и физиологическое состояние растения, количество окисляемых субстратов, температура, состав почвенных газов, влага, свет.

5.2.2.1. Температура

Интенсивность дыхания и активность отдельных групп дыхательных ферментов зависят от температуры окружающей среды. В отдельных температурных границах эта зависимость подчиняется *правилу Вант-Гоффа*, которое гласит: с повышением температуры дыхательная активность экспоненциально возрастает. Ускорение дыхания при повышении температуры на 10°C выражают посредством температурного коэффициента (Q_{10}):

$$\ln Q_{10} = \frac{10}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_2}{R_1},$$

где: $T_2 - T_1$ – температурный интервал;
 R_2 и R_1 – соответствующие скорости дыхания.

При значении Q_{10} , равном 1, температура не оказывает влияния на интенсивность дыхания, при Q_{10} , равном 2, интенсивность дыхания при увеличении температуры на 10°C удваивается. Это характерно для большинства растений в физиолого-биохимическом диапазоне действия температур.

Повышение интенсивности дыхания происходит при возрастании температуры до определенного предела, выше которого начинается инактивация ферментов и снижается дыхание, а при температуре 45-50°C оно практически прекращается. При этом надо учитывать длительность выдерживания растений при данной температуре. При кратковременной экспозиции интенсивность дыхания возрастает с повышением температуры до 35°C и даже 40°C. При длительном выдерживании растений в такой температуре интенсивность дыхания уменьшается.

В процессе эволюции растения приспосабливаются к определенным температурным условиям. В этой связи на характер реагирования растений сказывается происхождение растений, географический ареал их распространения. Реакция на низкие температуры зависит от вида растения. Травянистые растения отмирают, а древесные снижают интенсивность дыхания до минимума, но все-таки дышат даже при отрицательных температурах. То же относится и к зимующим вегетативным и генеративным органам. При низких значениях температуры дыхание растений заметно подавляется, но в тканях их зимующих органов слабое дыхание обнаруживается и при значительных морозах. У растений минимум, оптимум и максимум интенсивности дыхания при различных температурах не остаются постоянными и зависят, прежде всего, от их физиологического состояния, фазы развития и органа.

5.2.2.2. Вода

Изменение оводненности тканей растения отражается на интенсивности дыхания. От количества воды зависят ширина открытия устьичных щелей, через которые происходит газообмен растительного организма с окружающей средой, коллоидное состояние цитоплазмы, структура мембран, активность ферментов. Особенно сильно реагируют на изменение содержания воды в цитоплазме цитохромоксидаза и другие ферменты, активирующие кислород воздуха. Вода является одним из конечных продуктов дыхания. Она как реагент участвует в отдельных реакциях дыхательной электронтранспортной цепи.

Содержание воды в тканях в значительной мере обуславливает интенсивность дыхания. Однако прямой зависимости между этими показателями нет. Так, незначительное снижение содержания воды в листьях увеличивает интенсивность дыхания, при большем обезвоживании дыхание наоборот ослаб-

ляется. При увеличении оводненности клеток листьев выше оптимальной величины интенсивность дыхания уменьшается. Это объясняется тем, что заполнение водой межклетников мешает диффузии кислорода в клетки. Семена, находящиеся в покое (влажность 10–12 %), имеют ничтожно малую интенсивность дыхания (около 1,5 мг $\text{CO}_2 \cdot \text{кг ч}$). Увеличение их влажности до 16 % приводит к увеличению интенсивности дыхания в 4 раза, а до 32 % – в 100 раз. В период созревания семян по мере снижения их влажности интенсивность дыхания уменьшается. В фазу полной спелости, когда содержание воды в семенах сокращается до 14 %, происходит резкое снижение интенсивности дыхания, т. к. в них присутствует только коллоидносвязанная вода.

5.2.2.3. Состав атмосферы

Процесс дыхания связан с непрерывным потреблением кислорода растениями. Кислород необходим для протекания аэробной фазы дыхания, именно он является конечным акцептором электронов, движущихся по дыхательной цепи. В отсутствии кислорода происходит *гликолиз* (процесс анаэробного распада глюкозы, идущий с освобождением энергии, конечным продуктом которого является пировиноградная кислота) и затем спиртовое брожение, накопление образующегося спирта повреждает клеточные мембраны, их проницаемость увеличивается. Отсутствие в этих условиях цикла Кребса и пентозофосфатного цикла вызывает недостаток промежуточных продуктов, необходимых для синтетических процессов. Резко снижается синтез аденозинтрифосфорной кислоты, т. к. для функционирования электрон-транспортной цепи нужен кислород. При недостатке кислорода диоксид углерода продолжает выделяться почти с такой же скоростью, как и в аэробных условиях, это приводит к увеличению *дыхательного коэффициента* (отношение количества молей выделяемого при дыхании CO_2 к количеству молей поглощенного O_2). По мере увеличения содержания кислорода анаэробное дыхание усиливается, а брожение ослабляется. Действие кислорода, ингибирующего брожение и образование продуктов анаэробного обмена и уменьшающего расходование углеводов на дыхание, получило название *эффекта Пастера*. Надземные органы растения редко испытывают недостаток в кислороде, т.к. концентрация его в атмосфере относительно стабильна. Иначе обстоит дело с корнями. Корневая система растений, произрастающих на бесструктурных и сильно заболоченных почвах, испытывает недостаток кислорода. При недостатке кислорода интенсивность дыхания в клетках корня резко снижается, что приводит к уменьшению поступления питательных веществ в растения. Большое влияние на дыхание оказывает концентрация диоксида углерода. При повышении его содержания в воздухе интенсивность дыхания сильно падает. Это вызывается: 1) общим анестезирующим влиянием на растительный организм высоких концентраций диоксида углерода; 2) торможением активности дыхательных ферментов; 3) закрытием устьиц, что ограничивает доступ кислорода.

5.2.2.4. Свет

При освещении листьев дыхание активизируется. Особенно чувствительны к свету теневые листья, дыхание которых при кратковременном воздействии прямого света может резко возрастать. Наиболее сильно влияет на этот процесс коротковолновая часть видимого спектра и в особенности ультрафиолетовые лучи. Из этого следует, что влияние света на дыхательный процесс обусловлено не тепловой энергией, а специфическим воздействием определенных участков спектра. Дыхание у отдельных видов растений значительно изменяется также под влиянием циклов Луны и максимальная интенсивность дыхания наблюдается во время полнолуния. Есть указания о том, что на дыхание растений оказывают существенное влияние космические лучи.

5.2.2.5. Минеральное питание

Уровень содержания питательных веществ в почве, а также внесение минеральных удобрений влияют на интенсивность дыхания. Степень влияния определяется физиологической ролью элемента. Так, ионы металлов являются обязательным компонентом ряда окислительных ферментов: железо – активным центром гемина, играющего роль простетической группы в каталазе, пероксидазе, цитохромоксидазе и в цитохромах; ионы марганца принимают активное участие в окислении продуктов карбоновых кислот и, как следствие, в процессе дыхания растений; медь непосредственно входит в состав дыхательных ферментов аскорбиноксидазы и полифенолоксидазы; молибден является кофактором ферментов нитратредуктазы, ксантиндегидрогеназы и формиатдегидрогеназы. Цинк входит в состав карбоангидразы и карбоксилазы, участвующих в процессах дыхания. Действие вышеперечисленных элементов может сказаться на дыхании и косвенным образом, изменяя проницаемость протоплазмы. Для формирования и функционирования всех без исключения ферментов, причастных к процессу дыхания, необходим фосфор. Компонентами электрон-транспортной цепи дыхания служат железосерные белки. Как подсказывает их название, они содержат помимо железа и серу.

Интенсивность дыхания тесно коррелирует с содержанием в вегетативных органах азота, что связано с его большими затратами на формирование белка, особенно ферментативного. По мере увеличения содержания белка возрастает интенсивность дыхания вегетативных органов, что обусловлено их высокой метаболической активностью. При этом интенсивный рост приводит к импорту дополнительного количества азотистых соединений и, соответственно, к обороту большего количества белка, сопровождаемому усиленной тратой дыхательной энергии. Пропорциональность между содержанием белка в растениях и дыханием поддержания сохраняется до тех пор, пока существует тесная корреляция между содержанием белка и скоростью его оборота. Это объясняется тем, что на обеспечение оборота белка расходуется около 70 % энергии дыхания поддержания. Это наиболее заметно в загущенных посевах в условиях избыточного внесения азотных удобрений, когда наблюдается дефицит углеводов и относительный избыток белков в листьях нижних ярусов. С одной стороны, повышенное содержание белка в растениях увеличивает затраты на дыхание поддержания, с другой – снижает интенсивность дыхания биомассы и, как следствие, уменьшает их адаптационные возможности. Кроме того, на характер дыхательного процесса влияют формы азота, которые вносят в питательную среду. При нитратном питании растений, в отличие от аммиачного, интенсивность их дыхания заметно снижается, значительно усиливается образование органических кислот. При внесении аммонийных форм азотных удобрений в растениях в большей мере накапливаются эфирные масла, каучук и другие восстановленные вещества. На дыхание растений оказывают опосредованное влияние практически все элементы питания.

5.2.2.6. Повреждения и механические раздражители

При механическом воздействии и повреждении органов растения интенсивность дыхания значительно увеличивается: при надавливании – слабо, изгибе – сильнее, срезании – очень сильно. Повышение интенсивности дыхания при нарушении целостности тканей происходит из-за усиления снабжения поврежденных тканей кислородом. Кроме того, механические повреждения нарушают существующую в норме компартментацию в клетках и осво-

бождают ферменты и субстраты, что также усиливает интенсивность дыхания. Увеличение интенсивности дыхания в результате ранения растений, плодов, ягод и даже семян в ходе уборки приводит к снижению количества и качества урожая. Например, стебли сахарного тростника, не переработанные сразу после рубки, могут потерять за 15 дней лежания на плантации до 50–85 % сахара из-за значительного возрастания интенсивности дыхания.

5.2.2.7. Химические воздействия

Дыхание чувствительно к ряду химических реагентов, подавляющих различные этапы этого процесса, т.е. препараты, которые блокируют отдельные этапы дыхательной электронтранспортной цепи, в большинстве случаев ингибируют интенсивность дыхания. Например, превращение фосфоглицериновой кислоты в фосфоенолпировиноградную тормозится фторидом, а специфические этапы цикла Кребса блокируются фторацетатом и малонатом. Антимидин А действует между цитохромами **б** и **с**, а такие ингибиторы как цианид, азид и диоксид углерода, подавляют конечный этап транспорта электронов в дыхательной электрон-транспортной цепи. В то же время гербициды, инсектициды, фунгициды, сернистый газ и составные части смога в большинстве случаев увеличивают интенсивность дыхания.

5.2.2.8. Наличие субстратов

К дыханию приложим закон действия масс. Следовательно, увеличение количества окисляемого субстрата обычно обуславливает увеличение интенсивности дыхания. Это очень заметно в созревающих плодах, где превращение крахмала в сахар сопровождается увеличением интенсивности дыхания. В самой молодой заболони* высокая концентрация углеводов может стать причиной высокой интенсивности дыхания.

5.2.2.9. Возраст и физиологическое состояние тканей

Интенсивность дыхания в пересчете на целое растение сначала увеличивается, достигая максимума, который совпадает с периодом максимального роста, а затем падает. Эта зависимость известна под названием *большой кривой дыхания*. Если рассчитать интенсивность дыхания не на целое растение, а на единицу сухой массы, то получим постепенно уменьшающуюся в ходе вегетации величину. Уменьшение интенсивности дыхания в онтогенезе объясняется увеличением в тканях количества лигнина, целлюлозы, а также вакуолей, содержащих запасные вещества. Кроме того, в ходе вегетации растения изменяется число живых дышащих клеток. Сначала оно увеличивается благодаря активному делению, а затем количество отмирающих клеток увеличивается и дыхание замедляется. С возрастом снижается не только интенсивность, но и эффективность дыхания – уменьшается отношение Р/О. Это означает, что меньше синтезируется аденозинтрифосфорной кислоты и больше энергии рассеивается в виде тепла. Возраст влияет и на качество дыхания, и на величину дыхательного коэффициента. Увеличение дыхательного коэффициента в этом случае объясняется сменой ферментативных систем. В результате старения организма происходит переключение с одного дыхательного пути на другой: для молодых тканей, в частности, для меристем, характерен гликолиз, для зрелых – пентозофосфатный цикл.

* Заболонь – наружные, молодые физиологически активные, т.е. не отвердевшие еще слои древесины под корою или, вернее, под блонью, мезгой.

5.2.3. Способы управления дыханием

Необходимость управления дыханием возникает при хранении зерна, плодов, овощей и корнеплодов. В процессе дыхания выделяется энергия, в виде тепла, диоксид углерода и вода, расходуются органические вещества, в результате чего уменьшается масса продукции.

Для нормального хранения зерна зерновых и зернобобовых культур предельная влажность составляет 14,5-15 %, а семян масличных – 8-9 %. При более высокой влажности интенсивность дыхания возрастает, что сопровождается появлением в тканях зерновок и семян свободной воды, а это, в свою очередь, вызывает усиление обмена веществ. При увеличении влажности семян происходит аккумуляция тепла, что вызывает самосогревание. Одним из способов управления дыханием является воздушно-тепловой обогрев семян.

5.3. Минеральное питание

Минеральное питание – столь же уникальное свойство растения, как и фотосинтез. Именно эти две функции лежат в основе автотрофности растительного организма, т. е. способности строить свое тело из неорганических веществ. Причем, управление корневым питанием растений значительно легче, чем регулирование воздушного питания – усвоения CO_2 .

Н.В. Пильщикова, 1998

Поглощение ионов корнями – это сочетание пассивного поглощения, когда ионы движутся за счет массового потока и диффузии через апопласт, с активным поглощением или активным транспортом, при котором ионы переносятся в клетки против градиента концентрации за счет дыхания.

Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор, 1990

5.3.1. Агрохимия и физиология минерального питания

5.3.1.1. Корневая система растений и ее поглотительная способность

Корни растения поглощают из почвы воду и элементы минерального питания, служат своеобразным якорем, удерживающим надземную часть растения, синтезируют органические соединения, необходимые растительному организму, и выделяют продукты метаболизма. Корни должны обладать способностью выполнять все эти функции, не ограничивая рост растений.

Корень имеет сложное морфолого-анатомическое строение. В соответствии с выполняемыми им функциями, в строении корня выделяют корневой чехлик и четыре зоны: деления, роста, поглощения, проведения (рис. 41; Яковлев Г.П., Челомбитко В.А., 1990). Важно знать значение и функции этих зон корня, т.к. ими определяются параметры агротехнических приемов: глубина основной и предпосевной обработок почвы, глубина и способ заделки удобрений, глубина и ширина культиваций при уходе за растениями.

Функции корневого чехлика – защита точки роста и обеспечение корням положительного геотропизма. К корневому чехлику примыкает зона деления, составленная клетками меристемы. Меристема в процессе митотического деления откладывает клетки внутрь, обеспечивая рост корня, и наружу, пополняя клетки корневого чехлика. За зоной деления следует зона роста. Клетки зоны роста практически не делятся, но способны растягиваться в продольном направлении,

проталкивая корневое окончание вглубь почвы. Они характеризуются высоким тургором, что способствует активному раздвиганию почвенных частиц. В пределах зоны роста происходит дифференциация первичных проводящих тканей. За зоной роста располагается зона поглощения. В этой зоне из клеток первичной покровной ткани – эпиблемы – образуются многочисленные корневые волоски, которые служат опорой для растущей верхушки корня, выполняют функцию поглощения воды и элементов минерального питания из почвы.

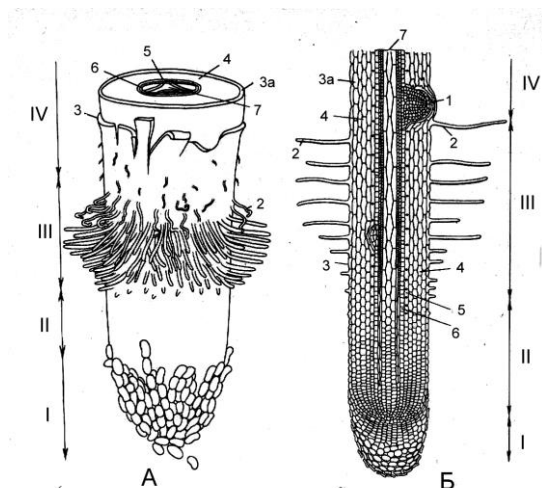


Рис. 41 . Общий вид (А) и продольный разрез (Б) корневого окончания:

I – корневой чехлик; II – зона роста и растяжения; III – зона корневых волосков, или зона всасывания; IV – начало зоны проведения (в этой зоне также закладываются боковые корни): 1 – заложившийся боковой корень; 2 – корневые волоски на эпиблеме; 3 – эпиблема; 3а – экзодерма; 4 – первичная кора; 5 – эндодерма; 6 – перицикл; 7 – осевой цилиндр

Корневые волоски представляют собою тонкие выросты клеток эпиблемы длиной 60-1500 мкм и диаметром 5-70 мкм. Общая длина корневых волосков, появляющихся за время жизни растений, огромна. Например, общая длина корней ржи равняется примерно расстоянию от Москвы до Санкт-Петербурга, а вместе с корневыми волосками – расстоянию от Москвы до Хабаровска. Число корневых волосков достигает нескольких сотен на 1 мм² поверхности корня в зоне поглощения, благодаря чему поглощающая поверхность корневой системы возрастает в 5-20 раз. Они выделяют в почву продукты метаболизма – минеральные и органические вещества, которые способствуют растворению труднорастворимых соединений почвы и положительно влияют на развитие микрофлоры. Продолжительность жизни корневых волосков не превышает 10-20 дней. Зона поглощения имеет длину в несколько сантиметров, именно здесь корни всасывают основную массу воды и растворенных в ней солей. Клетки в зоне поглощения не могут продвигаться в почве, так как в этой зоне продольное растяжение клеток корня прекратилось, а корневые волоски "срастаются" с частицами почвы. Тем не менее, зона поглощения непрерывно перемещается в почве. Это объясняется непрерывным включением в нее новых молодых клеток со стороны зоны роста и одновременным исключением клеток стареющих, переходящих в состав зоны проведения. Она начинается выше зоны поглощения, там, где исчезают корневые волоски. По

этой части корня вода и растворенные в ней элементы минерального питания транспортируются в надземные органы растения.

Таким образом, всасывающий аппарат корня – подвижное образование, меняющее свое местоположение в почве. С его ростом становится возможным использование все новых запасов воды и элементов минерального питания. При этом наблюдается явление *хемотропизма*, сущность которого заключается в том, что корневая система растений усиленно растет в направлении расположения доступных элементов минерального питания (*положительный хемотропизм*), либо ее рост тормозится в зоне высокой, неблагоприятной для растений концентрации солей (*отрицательный хемотропизм*). Суммарная площадь всасывающей зоны одного растения значительно превышает поверхность надземных органов растения.

5.3.1.2. Механизмы подачи элементов минерального питания к поверхности корня

В поступлении к поверхности корня питательных веществ участвуют три механизма: корневой перехват, массовый поток, диффузия. Вклад каждого из этих механизмов зависит от интенсивности поглощения веществ корнем и от обеспеченности почвы питательными веществами.

5.3.1.2.1. Корневой перехват

Термин корневой перехват используют для описания поглощения тех элементов минерального питания, которые находятся на поверхности корня и, следовательно, не должны передвигаться к границе раздела "корень/почва", чтобы оказаться доступными для поглощения. Контакт корней с питательными веществами в данном случае осуществляется путем непрерывного распространения их в почве в процессе роста и постоянного возобновления корневых волосков. Иначе говоря, корневой перехват происходит в результате активного поиска самими корнями элементов минерального питания в почве. Доля корневого перехвата в питании растений небольшая, так как объем корневой системы в почве не превышает 1-2 % от общего объема почвы. Корневой перехват играет существенную роль лишь при содержании в почве питательных веществ в больших количествах по сравнению с потребностями растения. Если их меньше потребности растений, большая часть питательных веществ, усваиваемых корнями, обеспечивается массовым потоком и/или диффузией.

5.3.1.2.2. Массовый поток

Массовый поток – это передвижение питательных элементов через почву к корням в конвективном потоке воды, вызванном ее поглощением растением. Количество питательных элементов, передвигающихся в массовом потоке, зависит от поглощения воды растениями и концентрации в ней этих элементов. Это движение происходит на расстояние, превышающее расстояние, определяемое диффузией. Количество элементов питания, поступающее к 1 см² поверхности корня за счет массового потока, рассчитывают умножением скорости поглощения воды на концентрацию этих элементов в равновесном почвенном растворе. Сравнение скорости передвижения питательных элементов в почве со скоростью их поступления в корни указывает на значение этого механизма подачи питательных веществ к поверхности корня. Скорость движения ионов к корням за счет массового потока определяется интенсивностью поглощения воды, которая, в свою очередь, зависит от вида растения

и почвенно-климатических условий. Интенсивность потока воды изменяется от $6 \cdot 10^{-7}$ до 1 см^3 воды на 1 см^2 корневой поверхности в секунду.

Роль массового потока в питании растений варьирует в широких пределах в зависимости от культуры и почвенно-климатических условий (табл. 27; Барбер С.А., 1988).

Таблица 27. Вклад корневого перехвата, массового потока и диффузии в обеспечение растений кукурузы элементами минерального питания, кг/га

Элемент	Количество элемента, необходимое для жизнедеятельности растения	Количество поступившего элемента		
		перехват	массовый поток	диффузия
N	190	2	150	38
P	40	1	2	37
K	195	4	35	156
Ca	40	60	150	0
Mg	45	15	100	0
S	22	1	65	0

Как свидетельствуют приведенные числа, в данном конкретном случае корневой перехват вносит небольшой вклад в общую обеспеченность всеми элементами питания, за исключением кальция, содержание которого в почве значительно превышает потребности растений. Массовый поток может обеспечивать потребности культуры во всех питательных элементах, кроме азота, фосфора и калия. Недостающее количество питательных веществ корни удовлетворяют за счет диффузии. В первую очередь это относится к фосфору, калию и частично к азоту.

5.3.1.2.3. Диффузия

Поглощение корнем питательных веществ сопровождается уменьшением их концентрации в почве. Это создает предпосылки для диффузии (*лат.* *diffusio* — распространение, растекание) элементов питания в почве по градиенту к поверхности корня. Диффузия элементов питания происходит вследствие теплового движения молекул, названного *броуновским движением*. При наличии градиента концентрации движение идет из зоны большей концентрации в зону меньшей и происходит до тех пор, пока концентрации не выровняются. Так как корни растений постоянно поглощают элементы питания из прикорневого слоя почвы, то градиент концентрации сохраняется до прекращения их функционирования. Расстояние от корня, на которое распространяется диффузионный градиент, зависит от скорости диффузии иона и колеблется от 0,1 до 15 мм. Скорость диффузии ионов через почву изменяется в зависимости от типа почвы и природы поглощения ею ионов. Для ионов, не адсорбируемых почвой, градиент концентрации (соотношение между ионами в растворе и ионами, адсорбируемыми на поверхности почвенных частиц) может достигать 1, а для сильно поглощаемых почвой ионов это соотношение может быть 10^{-4} .

Все, что сказано о механизмах подачи питательных веществ к поверхности корня, относится к той их части, которая находится в почвенном растворе и наиболее доступна для непосредственного использования растениями. Но

питательные вещества, содержащиеся в почвенном растворе, составляют лишь незначительную часть от общего их запаса почвы. Поэтому нормальное питание растений может иметь место лишь при постоянном высвобождении ионов из твердой фазы почвы в почвенный раствор. Скорость их перехода из твердой фазы в почвенный раствор высокая. Например, по фосфору она в 250 раз выше, чем скорость поглощения его растением из почвенного раствора. Интенсивность снабжения корней питательными веществами определяется концентрацией почвенного раствора, находящегося в равновесии с твердой фазой почвы. Установлено, что основная масса ионов переносится с водой, а диффузия имеет небольшое значение.

5.3.1.3. Поступление элементов питания в корневую систему растения

Процесс поглощения элементов минерального питания корнем включает несколько этапов, на каждом из которых действуют свои механизмы, приуроченные к определенным структурным компонентам, составляющим ткани корня.

Первым структурным компонентом системы поглощения веществ, вступающим во взаимодействие с почвенным раствором, являются клеточные оболочки. На этом этапе минеральные вещества поступают в так называемое "*свободное пространство*", – часть общего объема тканей корневой системы, в которую ионы или молекулы проникают путем диффузии до тех пор, пока их концентрация в "свободном пространстве" не уравнивается с концентрацией почвенного раствора. Оно составляет около 10 % общего объема корня и состоит из имеющихся в толще клеточных стенок и межклеточников межфибриллярных промежутков, которые не заняты матриксом и цитоплазмой, заполнены водой и сообщаются между собой. "Свободное пространство", в свою очередь, подразделяют на "*водное пространство*" и "*доннановское пространство*". Из первого вещества могут беспрепятственно мигрировать снова наружу, поэтому концентрация их по обе стороны оболочки одинаковая. В "доннановском пространстве" ионы адсорбируются обменно и вытеснение их возможно лишь в обмен на ионы внешнего раствора того же знака заряда и в эквивалентном количестве. Обменная адсорбция ионов в "доннановском пространстве" корнями растения носит неспецифический характер. На этом этапе ионы проникают в корни по типу *лиотропного ряда*, т.е. быстрее и в больших количествах адсорбируются те, которые имеют выше заряд и меньшую гидратированность.

"Доннановское пространство" локализовано в непосредственной близости к клеточным стенкам, где катионы концентрируются вследствие отрицательного заряда стенок. Высокая адсорбирующая способность обусловлена отрицательно заряженными карбоксильными группами пектиновых веществ (полигалактуроновых кислот), входящих в состав клеточных стенок, мозаично заряженными белками и "доннановским" электропотенциалом на границе водной среды и катионообменника. Эти факторы уже на первом этапе обеспечивают избирательность поглощения веществ, несущих заряд, так как клеточные стенки более активно связывают катионы, чем анионы. Из-за высокой плотности отрицательных фиксированных зарядов в клеточной стенке происходит первичное концентрирование катионов в пространстве, непосредственно прилегающем к плазмалемме.

Поступление элементов минерального питания в "свободное пространство" клеточных оболочек рассматривается как подготовительный этап поглощения. Значение этого подготовительного этапа сводится прежде всего к

созданию в самих тканях корня своеобразного резервуара веществ, из которого жизнедеятельная часть клетки получает избирательно необходимые элементы питания. Следовательно, проникновение элементов питания в "свободное пространство" – это лишь необходимое условие, а не механизм поглощения их растительной клеткой. Поступление ионов в свободное пространство корня и их перемещение в нем происходит с конвекционным потоком вместе с водой, а также посредством диффузии.

Для растений характерно несколько механизмов поглощения веществ, которые не заменяют, а дополняют друг друга. Поскольку теории питания подробно рассматриваются в курсе физиологии растений, кратко остановимся на теориях и гипотезах питания в связи с применением удобрений.

5.3.1.3.1. Диффузионно-осмотическая теория

Диффузионно-осмотическая теория была предложена в 1837 г. Р. Дютроше и поддержана такими видными учеными как В. Пфеллер, Х. Де-Фриз и А. Майер. Эта теория исходит из того, что поглощение клеткой воды и растворенных в ней веществ происходит путем диффузии через пористые цитоплазматические мембраны, а клетка рассматривается как осмотическая система. Движущей силой проникновения веществ в клетку считается разность концентраций клеточного сока и наружного раствора. Допускается одновременное поступление в корни питательных веществ и воды. Исключается активная роль корней, а поглощение растением элементов питания рассматривается как чисто физическое явление. Путем диффузии питательные элементы сами поступают и передвигаются в растениях. Однако, как показали многочисленные эксперименты, первоначальный этап поглощения и последующее передвижение элементов корневого питания в растениях осуществляется со скоростью, во много раз превосходящей возможную скорость диффузии. Вместе с тем, в общем механизме поглощения веществ корневыми системами растений не отрицается возможность участия и такого пассивного звена поглощения, как диффузия.

5.3.1.3.2. Липоидная теория

Липоидная теория базируется на способности веществ проникать в клетку путем предварительного растворения их в липидных компонентах плазмалеммы. Еще в 1899 г. англичанин Э. Овертон, измеряя скорость проникновения ряда электролитов в клетки корневых волосков, установил, что она зависит от растворимости данного вещества в липидах. Эта закономерность была подтверждена и в исследованиях финна Р. Колландера. Он, испытав значительное количество веществ с разной степенью липофильности, обнаружил, что более быстро проникают в растительную клетку те вещества, которые обладают более высоким сродством к жирам и жироподобным веществам. Липоидная теория исходит из раздельного поглощения воды и питательных веществ корнями растения, в этом и состоит ее преимущество перед диффузионно-осмотической теорией.

5.3.1.3.3. Ультрафильтрационная теория

Ультрафильтрационная теория была разработана Ж. Траубе и В. Руландом. Авторы рассматривают поглощающий аппарат корней подобно тонкому сити. Проникновение питательных веществ через плазмалемму зависит от величины ее пор и размера проникающих молекул. Вещества проникают быстрее, если

диаметр пор больше, а молекулы меньше, и наоборот. В вопросе о строении пор мнения исследователей расходятся. Одни авторы представляют поры как каналы, выстланные белком. Причем, белки, образующие стенки канала, способны различать молекулы, пытающиеся проникнуть в протопласт. Это делает поры высокоизбирательными. Эти поры, по мнению одних ученых, существуют в мембране постоянно. Другие исследователи считают, что пора – водный промежуток между липопротеиновыми комплексами, образующими мембрану. Вещества проходят вместе с водой. Есть и такое представление о поре: пора – это временное отверстие в липидном слое мембраны, возникшее в результате тепловых движений расположенных вертикально "хвостов" фосфолипидных молекул. Благодаря порам клеточная мембрана превращается в сито. Поглощение растениями органических веществ с большими размерами молекул не укладывается в рамки данной теории.

5.3.1.3.4. Адсорбционная теория

Автором адсорбционной теории является К. Дево. Он первым установил активное связывание катионов из разбавленных растворов растительными клетками. Впоследствии эта теория получила дальнейшее развитие в трудах Д.А. Сабина и И.И. Колосова. Адсорбционная теория исходит из возможности ионного обмена между окружающей средой и наружной поверхностью клеточной мембраны. Последняя состоит из двух фосфолипидных слоев – водонерастворимых органических молекул, имеющих полярные "головки" и длинные неполярные "хвосты", представленные цепями жирных кислот (рис. 42; Ревн П., Эверт Р., Айкхорн С., 1990).

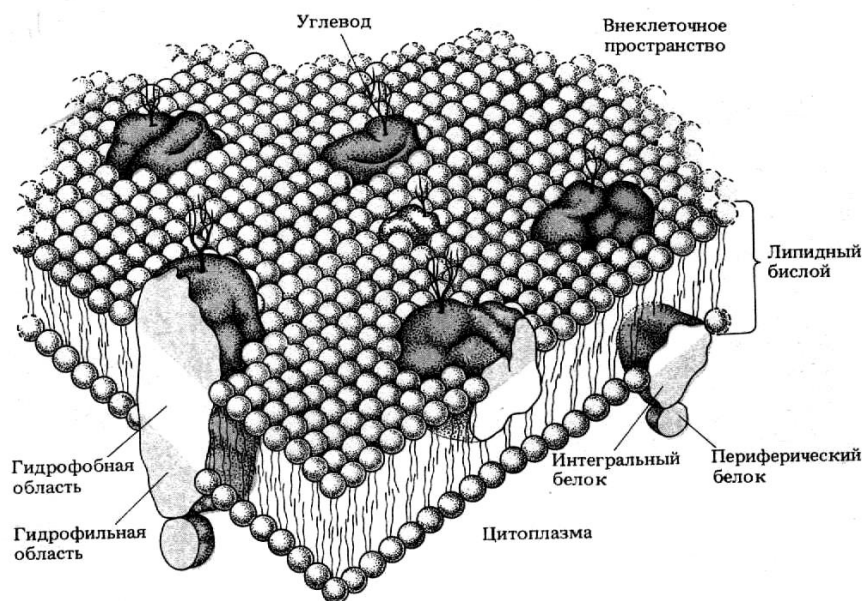


Рис. 42. Жидкостно-мозаичная модель клеточной мембраны

В двойном слое "хвосты" липидных молекул обращены друг к другу, а полярные "головки" располагаются снаружи, образуя гидрофильные поверхности. Молекулы липидов способны диффундировать в боковом направлении и

переходить из одного монослоя в другой. На этом основаны важные свойства мембраны – ее текучесть и способность к самосборке. В билипидный слой погружены молекулы белков. Некоторые из них проходят через всю толщю мембраны. Их называют **интегральными** белками. Они играют большую роль в транспорте веществ через мембрану. Другие белки располагаются на внешней или внутренней поверхности мембраны и называются **периферическими** белками. Кроме того, в мембране имеются частично погруженные белки, которые называются **полуинтегральными**. Они участвуют в восприятии разнообразных сигналов, поступающих в клетку.

Механизмы транспорта веществ в клетку и из нее зависят от химической природы переносимого вещества и его концентрации по обе стороны клеточной мембраны, а также от размеров транспортируемых частиц. Малые гидрофильные молекулы и ионы транспортируются клеткой непосредственно через мембрану путем пассивного или активного транспорта (рис. 43; Ревн П., Эверт Р., Айкхорн С., 1990).

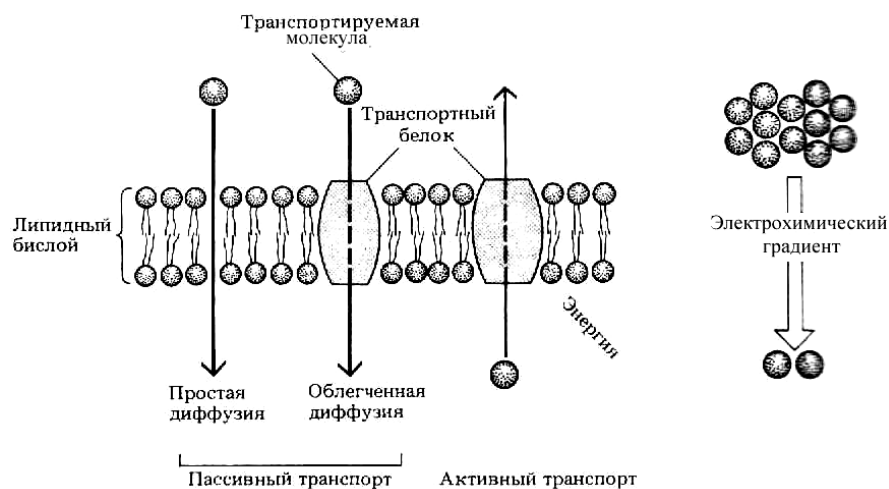


Рис. 43. Схема пассивного транспорта по электрохимическому градиенту и активного транспорта против электрохимического градиента

Пассивным транспортом называется перенос веществ через мембрану по градиенту их концентрации, без затраты энергии. Такой транспорт осуществляется посредством двух основных механизмов: простой диффузии и облегченной диффузии. Путем **простой диффузии** транспортируются малые гидрофобные молекулы, для которых плазматическая мембрана проницаема.

Благодаря мозаичной структуре отдельные участки плазмалеммы имеют отрицательные и положительные заряды, за счет них может происходить одновременно адсорбция необходимых растению катионов и анионов из наружной среды в обмен на другие ионы. Обменным фондом катионов и анионов у растений могут быть ионы H^+ и OH^- , а также H^+ и HCO_3^- , при диссоциации угольной кислоты образующейся из CO_2 , выделяемого при дыхании. Появившиеся на поверхности плазмалеммы катионы и анионы неизбежно входят в соприкосновение с базой (основной) и ацидоидной (кислой) частями протоплазмы клетки, и здесь они дают начало различным органическим соединениям или передвигаются в листья и стебли, т. е. в места наибо-

лее интенсивной ассимиляции. Передача ионов от клетки к клетке происходит по принципу адсорбции-десорбции от одной молекулы белка к другой вплоть до проводящей сосудистой системы корня. Адсорбционное поглощение элементов питания может происходить не только в обмене на H^+ и HCO_3^- , но и на образующиеся в процессе дыхания ионы органических и минеральных соединений, выделяемых корнями. Значительной в этом смысле может быть роль лимонной, щавелевой, яблочной и других органических кислот, наличие которых в выделениях корней экспериментально доказано. Эти соединения в почвенном растворе частично распадаются на катионы водорода и органические анионы, которые принимают участие в реакциях обмена.

Транспорт адсорбированных ионов из плазмалеммы внутрь клетки может происходить не только путем последовательно идущих процессов адсорбции и десорбции от одной молекулы белка в протоплазме к другой белковой молекуле, но и с участием специальных переносчиков и так называемых ионных насосов.

5.3.1.3.5. Мембранные транспортные белки и теория переносчиков

Облегченная диффузия. Гидрофильные молекулы и ионы, не способные самостоятельно проходить через мембрану, транспортируются с помощью специфических *белков-переносчиков*. Поэтому такой механизм транспорта получил название облегченной диффузии. **Облегченная диффузия** – это перенос вещества по концентрационному и электрохимическому градиенту с участием в этом процессе специфических мембранных белков. Иначе говоря, облегченная диффузия представляет собой диффузионный процесс, сопряженный с химической реакцией взаимодействия транспортируемого вещества с белком-переносчиком. Этот процесс специфичен и протекает с более высокой скоростью, чем простая диффузия. Каждый белок переносит только определенную молекулу или группу похожих молекул, т. е. эти белки относительно *специфичны*. Таким способом обеспечивается избирательность поглощения веществ клеткой.

В то же время, как и простая, облегченная диффузия также не способна идти против градиента концентрации или электрохимического градиента. Для этого вида диффузии характерен эффект насыщения: при некоторой значительной концентрации диффундирующего вещества дальнейшее увеличение его концентрации не ускоряет более диффузию. Это указывает на сходство механизмов облегченной диффузии с механизмами ферментативного катализа (насыщающая концентрация субстрата). Видимо, транспортируемое вещество соединяется с переносчиком, который доставляет его от одной поверхности мембраны к другой, а затем освобождает (аналогия с образованием ферментсубстратного комплекса с последующим освобождением продукта реакции и фермента). Если диффундируемого вещества слишком много, все молекулы переносчика оказываются занятыми и ускорить перенос повышением концентрации уже не удастся.

Существуют два типа мембранных транспортных белков — *белки-переносчики* и *каналообразующие белки*. Переносчики первого типа действуют подобно парому. Погрузив перевозимые молекулы ("пассажиров"), они переносят их через мембрану и возвращаются либо пустыми, либо захватив других "пассажиров". Переносчики второго типа не совершают челночных движений, а встраиваются в мембрану, образуя канал.

Белки-переносчики. Работа белков-переносчиков напоминает работу фермента, но переносимое вещество при этом не изменяется. Как и фермент,

белок-переносчик имеет специальный участок для связывания транспортируемого вещества. Транспортный белок соединяется с молекулой или ионом переносимого вещества так же, как фермент соединяется с субстратом, т. е. по принципу **комплементарности***. Образующийся комплекс может перемещаться через плазмалемму, непроницаемую для ионов. На внутренней стороне мембраны ионы отделяются от переносчиков и передвигаются во внутреннее пространство клетки. Молекулы переносчика снова оказываются способными переносить другие ионы. Теорию переносчиков можно записать уравнением Михаэлиса-Ментен:

$$V = \frac{V_{\max} C}{K_m + C},$$

где: V – скорость ферментативных реакций поглощения ионов при концентрации C ;
 $V_{\max}C$ – максимально возможная скорость поглощения ионов, достигаемая до полного насыщения всех переносчиков;
 K_m – константа Михаэлиса, отражающая степень сродства переносчика к ионам;
 C – молярная концентрация субстрата.

Эта теория позволяет количественно определить параметры поглощающей системы (V_{\max} , K_m).

Вид перемещения вещества через мембрану зависит как от свойств транспортируемого соединения, так и особенностей состава и структурной организации мембраны. Трансмембранный перенос может осуществляться по типу унипорта, симпорта или антипорта (рис. 44; Ревн П., Эверт Р., Айкхорн С., 1990).

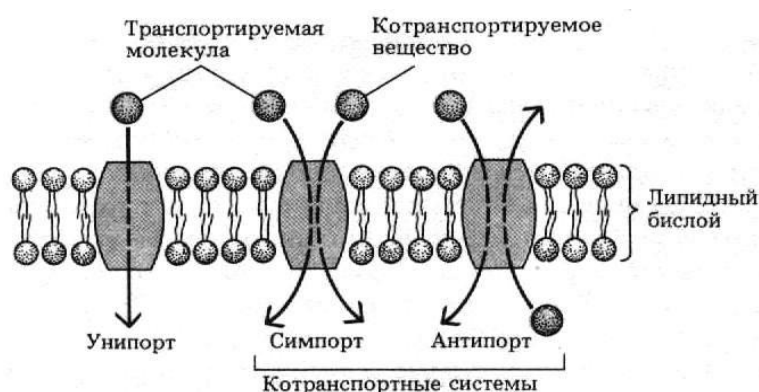


Рис. 44. Схема функционирования транспортных белков

Унипорт – наиболее простой вид переноса какого-либо одного растворенного вещества с одной стороны мембраны на другую, осуществляемый по механизму простой или облегченной диффузии.

При наличии в мембране так называемых котранспортных систем возможно перемещение через мембрану двух различных веществ. **Котранспортные системы** – это транспортные белки, переносящие совместно два

* Комплементарность (от лат. *complementum* — дополнение) — это пространственное соответствие поверхностей взаимодействующих молекул или их частей, приводящее к образованию между ними вторичных связей (водородных, ионных, вандерваальсовых).

различных вещества по типу симпорта или антипорта, т. е. переносчик имеет центры связывания для обоих веществ.

Симпорт – перенос одного вещества через мембрану за счет энергии градиента концентрации другого вещества, переносимого одновременно с ним в том же направлении, т. к. у переносчика имеются центры связывания и для него.

Антипорт – перемещение вещества против градиента концентрации за счет энергии градиента концентрации другого вещества, перемещаемого в направлении своего градиента концентрации.

Все транспортные белки образуют непрерывный белковый проход через мембрану, поэтому вещества, которые они переносят, непосредственно не контактируют с гидрофобной внутренней частью липидного бислоя. Существуют два механизма прохождения веществ через плазмалемму: эстафетный и челночный. **Эстафетный** – когда переносимое вещество последовательно передается от одной молекулы переносчика к другой. При этом молекулы переносчика встраиваются в мембрану одна за другой и ионы или молекулы, захваченные крайней молекулой переносчика, передаются по эстафете. Если переносчик движется вместе с переносимыми внутрь клетки ионами, то механизм переноса называют **челночным**.

Каналообразующие белки. Эти белки образуют в мембранах каналы, пронизывающие липидный бислой и заполненные водой. Наружная поверхность этих каналов гидрофобна, а внутренняя — гидрофильна; диаметр канала — 0,5–0,8 нм. Вещества проходят через каналы, не контактируя с гидрофобной частью мембраны.

Практически все каналы служат для транспорта ионов, поэтому их называют **ионными каналами**. В настоящее время известно более 50 видов этих каналов. Наиболее распространенными являются каналы, проницаемые для ионов калия, кальция. Одна из основных функциональных характеристик каналов — их способность распознавать и достаточно селективно транспортировать с высокой скоростью 10^6 – 10^8 ион/с, т. е. в 1000 раз быстрее, чем с помощью белков-переносчиков. Перемещение ионов по каналу происходит по градиенту, т. е. *пассивно*, и основной составляющей движущей силы часто является разность концентраций иона по обе стороны мембраны. Другая особенность каналов — регуляция их пропускной способности в ответ на специфические стимулы. Активность каналов модулируется мембранным потенциалом, рН, концентрацией ионов, внутриклеточными сигнальными молекулами и рядом других эндогенных и экзогенных факторов.

5.3.1.3.6. Ионофоры

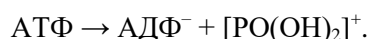
Небольшие гидрофобные молекулы, которые растворяются в липидных бислоях, наряду с белками также могут переносить вещества через мембраны. Экспериментально установлена группа веществ, способных переносить ионы щелочных и щелочноземельных элементов через мембраны, они названы ионофорами. Термин "**ионофор**" объединяет мембраноактивные вещества гидрофобной природы, способствующие переносу ионов через липидные барьеры. К ним относятся различные макроциклические соединения, содержащие большое количество атомов кислорода. Все они отличаются способностью селективно связывать ионы металлов, образуя с ними липидорастворимые катионные комплексы. Комплексы ионофоров с металлами образуются при взаимодействии с атомами кислорода, равномерно встроенными в циклический скелет и ориентированными соответствующим образом.

Ионофоры разделяют на две группы. К первой из них относятся нейтральные соединения, не содержащие протонов, способных к диссоциации. Поэтому комплексы, образуемые ими с ионами металлов, заряжены положительно. В ионофорах второй группы обязательно присутствует карбоксильный остаток, включенный в кольцевую структуру. Наличие или отсутствие этой единственной карбоксильной группы критично для проявления транспортной функции веществ.

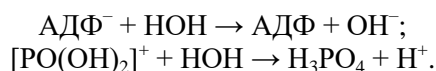
Активный транспорт. Активным транспортом называется перенос веществ через мембрану против их градиентов концентрации. Он осуществляется с помощью белков-переносчиков и требует затрат энергии, основным источником которой служит аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Гидролиз АТФ происходит с помощью фермента *аденозинтрифосфатазы* (АТФазы). Она гидролизует АТФ, образуящуюся при дыхании клетки, по уравнению: $\text{АТФ} + \text{Н}_2\text{О} \rightarrow \text{АДФ} + \text{Н}_3\text{РО}_4$. Чтобы 1 моль соли поступил в клетку, нужно затратить около 4,6 кДж. При гидролизе АТФ выделяется ~30 кДж/моль. Этой энергии достаточно для транспорта нескольких молей соли. Такие специальные белки, находящиеся в мембране и транспортирующие через нее растворенные вещества против градиента электрохимического потенциала с использованием энергии, освобождаемой, например, при гидролизе АТФ, получили название **ионных**, или **биологических насосов**. Переносчиком могут быть и сами АТФазы. Они располагаются поперек мембраны и гидролизуют АТФ. Их еще называют **транспортными АТФазами**. Энергия гидролиза АТФ в данном случае используется для транспорта протонов через мембрану. Вынос протонов из клетки сопровождается поступлением в нее катионов или выходом анионов.

У высших растений в плазмалемме и в мембранах эндоплазматического ретикулума есть АТФазы, которые обменивают на протоны ионы кальция. Эти АТФазы, или **кальциевые насосы**, активно выводят ионы кальция из цитозоля. В результате концентрация ионов кальция в цитозоле ниже (КГ^{-7} М) по сравнению с его концентрацией в свободном пространстве (10^{-3} М), в митохондриях и в эндоплазматическом ретикулуме. В ответ на раздражение клетки кальций возвращается в цитозоль из свободного пространства клеточной стенки или выходит из митохондрии и эндоплазматического ретикулума.

Перенос протонов через мембраны может идти и за счет окисления НАДН или НАДФН. Перенос протонов через мембраны с использованием энергии АТФ или НАД(Ф)Н называется **протонным насосом** (протонной помпой или H^+ -АТФазой). Принцип действия протонного насоса состоит в том, что АТФ расщепляется до АДФ или органического фосфора с образованием градиента протонов по обе стороны мембраны. При расщеплении АТФ сначала образуются анион АДФ⁻ и фосфорил-катион:



При взаимодействии АДФ⁻ с водой образуется ОН⁻-ионы, а фосфорил-катиона – Н⁺-ионы:



Ионы водорода отделяются наружу, а ОН⁻-ионы – внутрь клетки. Содержимое клетки заряжается по отношению к наружной среде отрицательно; возникает электрохимический градиент, который ускоряет пассивный транспорт катионов. Накапливающиеся в цитоплазме ОН⁻-ионы с помощью переносчиков транспортируются наружу в обмен на другой анион. Таким образом фермент

генерирует большой электрический потенциал и градиент рН, что создает движущую силу для поглощения веществ, котранспортируемых с H^+ . Благодаря высокой эффективности и универсальности, активный транспорт играет основную роль в обмене веществ между клеткой и окружающей средой.

Одной из важнейших систем активного транспорта является калий-натриевый насос, локализованный в плазматической мембране почти всех клеток. Это частный вариант ионного насоса – переносит ионы натрия и калия через мембраны против градиента концентрации. Энергия, необходимая для функционирования калий-натриевого насоса, поставляется молекулами АТФ, образующимися при дыхании. Транспорт K^+ и Na^+ осуществляется специальным белком-переносчиком, который существует в двух альтернативных формах (рис. 45; Ревн П., Эверт Р., Айкхорн С., 1990). Одна из них имеет полость, открытую внутрь клетки, в которую может войти ион Na^+ . Другая имеет полость, открытую наружу, в нее входит ион K^+ . В начале ион Na^+ связывается с транспортным белком. Затем АТФ расщепляется с образованием АДФ, а освобожденный фосфат присоединяется к белку (белок фосфорилируется). Это вызывает изменение конформации белка и Na^+ переносится на внешнюю сторону мембраны и высвобождается. Затем транспортный белок захватывает ион K^+ , что ведет к дефосфорилированию белка, возвращению его первоначальной конформации и высвобождению иона K^+ внутри клетки. Этот процесс генерирует градиент Na^+ и K^+ поперек мембраны.

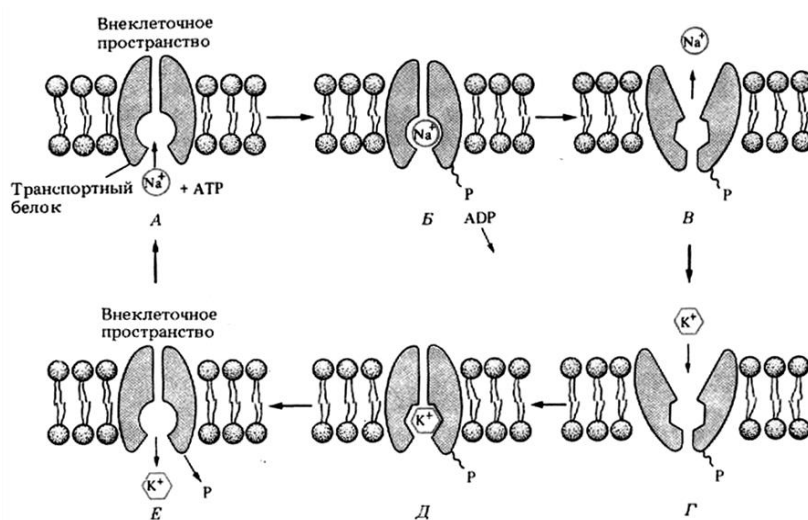


Рис. 45. Модель работы калий-натриевого насоса

А. Ион Na^+ в цитоплазме соединяется с молекулой транспортного белка. Б. Реакция с участием АТФ, в результате которой фосфатная группа (Р) присоединяется к белку, а АДФ высвобождается. В. Фосфорилирование индуцирует изменение конформации белка, что приводит к высвобождению Na^+ за пределы клетки. Г. Ион K^+ во внеклеточном пространстве связывается с транспортным белком (Д), который в этой форме более приспособлен для соединения с K^+ , чем с Na^+ . Е. Фосфатная группа отщепляется от белка, вызывая восстановление первоначальной формы, а ион K^+ высвобождается в цитоплазму

Калий-натриевый насос обеспечивает низкое содержание натрия и высокое содержание калия в тканях растений. Необходимый для работы "насоса" внутриклеточный избыток ионов натрия достигается диффундированием их согласно градиенту концентрации из внешней среды внутрь клетки.

5.3.1.3.7. Перенос макромолекул через мембраны

Перенос макромолекул и крупных частиц осуществляется посредством транспорта в "мембранной упаковке", т. е. за счет образования окруженных мембраной пузырьков. *Транспорт в мембранной упаковке*, в зависимости от того, в каком направлении переносятся вещества (в клетку или из нее), подразделяется на эндоцитоз и экзоцитоз.

Эндоцитоз (греч. endon – внутри и kytos –местилище, клетка) называется процесс поглощения макромолекул и более крупных частиц (вирусов, бактерий, фрагментов клеток) клеткой. Эндоцитоз осуществляется путем фагоцитоза и пиноцитоза.

Фагоцитоз (греч. phagos – пожиратель) – процесс активного захвата и поглощения клеткой микроскопических живых объектов (микробов, фрагментов клеток) и других твердых микрочастиц. В ходе фагоцитоза клетка с помощью рецепторов распознает специфические молекулярные группировки фагоцитируемой частицы. Затем в месте прикосновения частицы к мембране клетки образуются выросты плазмалеммы – *псевдоподии*, которые обволакивают микрочастицу со всех сторон. В результате слияния псевдоподий такая частица оказывается заключенной внутри пузырька, окруженного мембраной, который называется *фагосомой*. Фагосома, погружаясь в цитоплазму, может сливаться с первичной лизосомой, вследствие чего поглощенная клеткой органическая микрочастица, под воздействием гидролитических ферментов разрушается до аминокислот, сахаров, нуклеотидов и используется клеткой.

Пиноцитоз (греч. pinos – пить) – захват клеточной поверхностью и поглощение клеткой жидкости (в виде истинных и коллоидных растворов) (рис. 46; Ягодин Б.А., 1980). Этот процесс делят на 4 этапа: 1) адсорбция на мембране молекул или ионов поглощаемого вещества; 2) впячивание мембраны внутрь и образование пиноцитарного пузырька, отрыв его от мембраны, для чего необходима энергия АТФ; 3) миграция пиноцитарного пузырька внутрь протопласта, или органеллы; 4) растворение мембраны пузырька с помощью ферментов (пиноцитарный пузырек сливается с лизосомой) или просто ее разрыв. Итак, пиноцитоз – это впячивание мембраны и ее последующее отделение, благодаря которому происходит поглощение веществ вместе с каплями жидкости. При пиноцитозе вещества не пересекают мембрану.

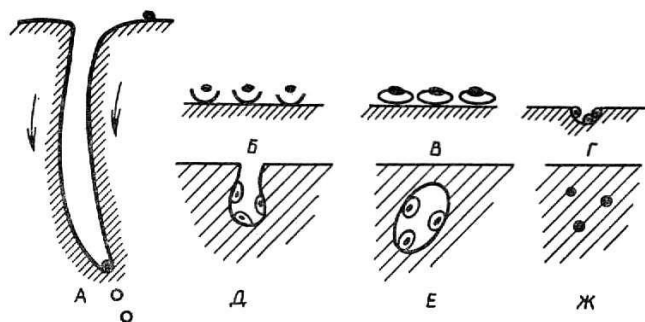


Рис. 46. Механизмы пиноцитоза:

А – мембрана втягивается внутрь клетки, образуя узкий канал. От конца канала отшнуровываются пузырьки с захваченным веществом. Б-Ж – участок мембраны, на котором адсорбировались макромолекулы (В), впячивается внутрь (Г). В месте впячивания мембраны смыкаются (Д) и образовавшийся пиноцитарный пузырек отрывается от клеточной мембраны (Е). В глубине клетки мембраны пузырька разрушаются ферментами (Ж)

Поскольку разные белки пиноцитируются лишь в определенных участках плазмалеммы, можно предположить, что мембрана содержит какие-то рецепторы, на которые адсорбируются поглощаемые вещества. Следовательно, специфичность пиноцитоза определяется на первом этапе: вещества, для которых нет подходящих рецепторов, не пиноцитируются.

Пиноцитоз – основной способ транспорта в клетку макромолекул – белков, липидов и гликопротеинов. Возможно с помощью пиноцитоза поступление в клетку ионов хлора. Они проникают в пиноцитарных пузырьках через плазмалемму. Затем эти пузырьки могут или прямо направляться к тонопласту и открываться в вакуоль, или могут попадать в эндоплазматическую сеть. Следовательно, ионы хлора могут попадать в вакуоль, в сущности, так и не побывав в мезоплазме, т. е. пройдя через нее в пиноцитарных пузырьках. Если мезоплазма уже насыщена ионами, то они поступают в вакуоль. Перенос ионов в вакуоль связан с преодолением еще одного барьера – тонопласта. Тонoplast и плазмалемма обладают разной проницаемостью. В частности, данные по электрическому сопротивлению обеих мембран показывают, что электропроводность у тонопласта может быть в 10 раз выше. В отличие от плазмалеммы, тонопласт заряжен положительно, его потенциал +26 мВ. Перенос ионов через тонопласт происходит с помощью насосов и переносчиков и в большинстве случаев требует затрат энергии.

Фагоцитоз и пиноцитоз могут происходить и в обратном направлении. Обратный эндоцитоз называют *экзоцитозом*. *Экзоцитоз* (греч. *exo* — вне, снаружи) — процесс выведения веществ из клетки. В эукариотических клетках постоянно секретятся различные типы молекул с помощью процесса экзоцитоза. Некоторые из них могут оставаться на мембране клетки и становиться ее частью, другие – выходят во внеклеточное пространство. Так, секреторные белки упаковываются в транспортные пузырьки в аппарате Гольджи и затем переносятся непосредственно к мембране. Образование экзоцитозных пузырьков может происходить ритмично, с постоянной скоростью, поглощая внеклеточную жидкость и содержащиеся в ней компоненты. В ряде случаев инициирующим фактором образования визикулы является контакт с определенным веществом или это становится возможным благодаря наличию в мембране специфических рецепторов, улавливающих комплементарные к ним лиганды. Во вспячивании мембраны и формировании пузырьков важная роль принадлежит ряду сократительных белков.

Путем эндоцитоза может происходить поступление макромолекулярных белков, которые не могут проникать в клетку за счет переносчиков, через плазмалемму. Поскольку функционирование сократительных белков нуждается в энергии АТФ, процесс экзоцитоза можно отнести к механизму активного трансмембранного переноса веществ.

Таким образом, при рассмотрении существующего многообразия теорий питания растений необходимо различать три формы прохождения элементов питания через плазмалемму: 1) пассивная диффузия; 2) облегченная диффузия, обеспечиваемая селективными молекулярными переносчиками; 3) активный транспорт веществ. При пассивной диффузии питательные вещества проходят через мембрану в результате случайного молекулярного движения и величина потока линейно зависит от концентрации и коэффициента проницаемости мембраны для данного вещества. Диффузия через мембрану может осуществляться через гидрофобные участки для неполярных соединений и через гидрофильные поры для полярных соединений. Облегченная диффузия предусмат-

ривает наличие специфических переносчиков, связывающихся с транспортируемыми веществами и таким образом "облегчающих" их прохождение через плазмалемму. Такая "облегченная" диффузия происходит по градиенту концентрации без затраты энергии и не сопровождается аккумуляцией веществ в клетке. В основе механизма облегченной диффузии лежит обратимое соединение транспортируемого вещества со специфическим переносчиком, и образующийся комплекс "вещество-переносчик" диффундирует в толще мембраны от наружной поверхности к внутренней, где комплекс диссоциирует с высвобождением вещества внутрь клетки. Свободный же переносчик диффундирует назад к наружной поверхности мембраны, где соединяется с новым веществом, и цикл повторяется. Перенос ионов против электрохимического градиента, т. е. активный транспорт, осуществляется транспортными АТФ-азами с использованием АТФ. Свое название АТФ-азы получили в связи с присущей им способностью расщеплять АТФ. Освобождаемая энергия используется для транспорта вещества, а транспортная АТФ-аза обратно фосфорилируется. Известны K^+ , Na^+ -АТФ-аза, H^+ -АТФ-аза, Ca^{2+} -АТФ-аза, анионная АТФ-аза. Активный транспорт ионов H^+ может поддерживаться и за счет энергии НАДФН. Перенос ионов H^+ через плазмалемму с использованием АТФ или НАДФН получил название протонной помпы (H^+ -помпы, H^+ -насоса).

Активное поглощение ионов через плазмалемму возможно и за счет векторного метаболизма. Последнее понятие характеризует превращение веществ, осуществляемое ферментными ансамблями, в которых различные ферменты ориентированы в пространстве друг относительно друга вполне определенным образом. Последовательные превращения веществ вызывают его передачу от одного фермента к другому, т. е. одновременно с превращением вещества происходит его направленное передвижение в пространстве.

Необходимо отметить, что питательные вещества, поступившие в клетку из почвенного раствора независимо от способа переноса их через клеточную мембрану, практически не включаются в метаболизм на уровне плазмалеммы, и после поступления во внутреннее пространство клетки могут иметь следующий путь: пройдя цикл последовательных превращений, включаться в клеточные структуры; концентрироваться в вакуолях или транспортироваться по сосудам ксилемы в надземную часть растения, а также могут выделяться обратно.

5.3.1.4. Ионный транспорт в растении

Различают три типа ионного транспорта элементов минерального питания: внутриклеточный, ближний и дальний.

5.3.1.4.1 Внутриклеточный транспорт

Ионы из почвенного раствора сначала попадают в свободное пространство клеточной стенки. Затем часть их транспортируется через плазмалемму в протопласт с помощью транспортных белков. Транспортные белки действуют на очень небольшом расстоянии – 80 нм.

Передвижение веществ внутри одной клетки осуществляется в результате кругового движения цитоплазмы и направленной поперек этого движения диффузии, чем может достигаться почти полное перемешивание веществ в гиалоплазме*. Циркуляционное движение цитоплазмы, т. е. *циклозис*, проис-

* Гиалоплазма – матрикс, часть цитоплазмы растительных и животных клеток, в которой содержатся все органоиды и продукты внутриклеточного метаболизма.

ходит со скоростью 0,2–0,6 мм/мин при участии сократительных белков актомиозинового типа (солерастворимый белок, состоящий из миозина и актина). У высших растений движение цитоплазмы происходит с помощью микротрубочек и микрофиламентов. Скорость движения цитоплазмы зависит от физиологического состояния клетки и, прежде всего, от количества АТФ. Вещества, вызывающие разрушение микрофиламентов и разборку микротрубочек, влияют и на внутриклеточный транспорт ионов. Во внутриклеточном транспорте веществ принимают участие также каналы эндоплазматического ретикулума и везикулы аппарата Гольджи.

5.3.1.4.2. Ближний транспорт

Корни переносят в надземные органы более 80 % поглощенных ионов. Это перемещение включает радиальный транспорт, загрузку ксилемы и дальний транспорт веществ по сосудам ксилемы. **Ближний (радиальный) транспорт** – перемещение ионов от эпидермальных клеток корня до трахеальных элементов ксилемы (рис. 47; Барбер С.А., 1988). Ближний транспорт осуществляется через клетки неспециализированных для транспорта веществ тканей по **апопласту** – совокупности межклетников и межфибрилярных полостей клеточных стенок, **симпласту** – совокупности протопластов клеток, соединенных плазмодесмами, и вакууму – дискретной системе вакуолей клеток. Соотношение потоков по этим двум компартментам различается для разных ионов и зависит от их концентрации в растворе. При низкой доступности элементов минерального питания, обычной для почвенной среды, большинство ионов, поглощенных в зоне корневых волосков, сразу в ризодерме поступает в симпласт. При высокой концентрации в среде значительная часть ионов (до 50 % от поглощенных) перемещается по апопласту (кальций и бор транслоцируются преимущественно по апопласту). Симпластная транслокация ионов из клетки в клетку происходит по плазмодесмам, и эффективность перемещения зависит от плотности плазмодесм, пронизывающих клеточную стенку. Число плазмодесм, связывающих даже самые мелкие клетки, достигает 20000–30000, а иногда – 100000; площадь сечения плазмодесм составляет 0,2–0,8 % от поверхности клеток. Число плазмодесм на единице площади поверхности клетки меняется в зависимости от тканевой принадлежности клетки и ориентации стенки. В эпидермисе больше всего плазмодесм находится в стенках трихобластов. При этом на тангенциальной стороне плазмодесм больше, чем на радиальной. У безволосковых клеток число плазмодесм в стенках уменьшается по мере удаления от трихобласта. Внутри симпласта ионы и их органические производные передвигаются от клетки к клетке по плазмодесмам без преодоления мембран со скоростью 1,5–2,0 см/ч. Строение плазмодесмы таково, что она не просто связывает протопласты соседних клеток, но и объединяет через десмотрубочку эндоплазматический ретикулум клеток в единую систему. Войдя в протопласт, ион может затем попасть внутрь эндоплазматического ретикулума. Так как в состав каждой плазмодесмы входит его канал, то попавший в него ион может транспортироваться по симпласту из клетки в клетку, не входя в цитозоль. Десмотрубы могут расширяться, суживаться и закрываться. В последнем случае транспорт по ним прекращается, и вещества движутся через плазмодесму только по цитозолю. Следовательно транспорт веществ через плазмодесмы регулируется. Транспорт ионов по симпласту связан с обменом веществ, т. е. транспорт ионов через протоплазму клеток до ксилемы – активный процесс.

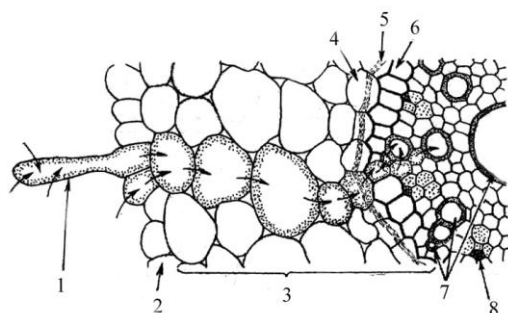


Рис. 47. Поперечный срез клеток и тканей корня, участвующих в поглощении ионов:

Стрелками указано направление движения ионов через избранный ряд клеток: 1 – корневой волосок; 2 – эпидермис; 3 – кора; 4 – эндодерма; 5 – пояски Каспари; 6 – перицикл; 7 – ксилема; 8 – флоэма

Важную роль в транспорте веществ по симпласту играют вакуоли*. Ионы не идут через вакуоли, но вакуоли и проводящие ткани корня конкурируют между собой за поглощение вещества. Результат конкуренции определяется степенью насыщенности тканей растений солями. У растений, вакуоли которых насыщены ионами, основная часть вновь поглощаемых ионов передвигается в сосуды, минуя встречающиеся вакуоли. У растений, выращенных на разбавленных питательных растворах, большая часть поглощаемых ионов накапливается в вакуолях клеток корня, что надолго исключает их из прямого транспорта в сосуды. На продолжительность нахождения иона в клеточном соке влияет его концентрация в клеточном растворе. Если во внешней среде содержится оптимальное количество иона, то вакуоль не оказывает влияния на его транспорт по симпласту. Если во внешней стороне недостаток иона или его нет совсем, то он поступает из вакуоли в цитозоль и потом в симпластический путь. Если во внешней среде избыток иона, то происходит его накопление в вакуоли. Следовательно, вакуоли поддерживают концентрацию данного иона в симпласте постоянной. Поглощение ионов вакуолями снижает их концентрацию в симпласте и обеспечивает создание градиента концентрации, необходимого для транспорта их по симпласту. Поступление ионов в вакуоли может происходить как против градиента концентрации, так и против электрохимического градиента, т. е. с помощью транспортных белков тонопласта. Таким образом, из сказанного о влиянии вакуолей на транспорт веществ, можно заключить, что корень способен выполнять распределительную функцию, направляя в побеги дефицитные элементы питания и задерживая в вакуолях избыточные или вредные.

Перемещение ионов по апопласту происходит за счет диффузии и обменной адсорбции по градиенту концентрации и ускоряется током воды. Однако диффузия ионов и молекул по апопласту прерывается на уровне эндодермы. Пояски Каспари служат непреодолимым барьером для продвижения веществ по апопласту, так как в их оболочке имеется перемычка, пропитанная суберином, обладающая гидрофобными свойствами. Таким образом, единственный путь дальнейшего передвижения веществ через эндодерму – транспорт по симпласту, чем обеспечивается метаболический контроль поступления

* Вакуоли – полости в цитоплазме клеток, заполненные клеточным соком с отработанными веществами, а также с запасами питательных веществ клетки.

веществ. Существование в эндодерме пропускных клеток, в которых пояски Каспари недоразвиты или отсутствуют, позволяет незначительной части питательных веществ избежать метаболический контроль. Развитие боковых корней выше зоны корневых волосков также создает участки, где ионы могут перемещаться из коры в стебель по апопласту, поэтому часть ионов и воды может достигать ксилемы, не поступая в симпласт.

Конечный пункт радиальной симпластной транслокации – сосуды ксилемы, составляющие важную часть апопласта стели* (рис. 48; Данилова М.Ф., 1974). В ксилему ионы поступают из клеток ксилемной паренхимы, и существует специальный термин — "загрузка ксилемы". Движущая сила транскорневого транспорта ионов — градиент их электрохимического потенциала между границами симпласта: на входе в него (плазмалемма клеток ризодермы) и при выходе (плазмалемма клеток ксилемной паренхимы). Поступление ионов и молекул в сосуды ксилемы может происходить не только пассивно, но и активно, с помощью транспортных белков.

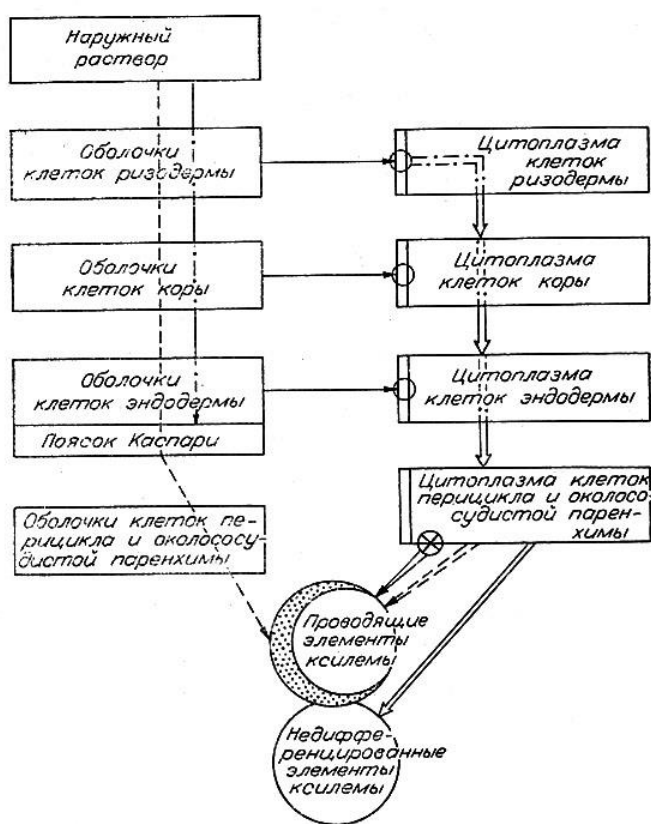


Рис. 48. Возможные пути и механизмы передвижения веществ в корне

Пунктир – предполагаемое непрерывное свободное пространство до сосудов ксилемы; простая стрелка – диффузионное передвижение веществ по апопласту; двойная стрелка – передвижение веществ по симпласту; прерывистая линия с точками – места метаболизма веществ в клетках; двойной пунктир – пассивное вытекание раствора в сосуды; ⊗ – положение насоса, обеспечивающего активную секрецию веществ в проводящие элементы ксилемы; ○ – мембранный транспорт.

* Стель (стела) – осевой цилиндр проводящей системы стебля и корня у высших растений).

5.3.1.4.3. Дальний транспорт

Дальний транспорт – передвижение веществ между органами растения осуществляется по специализированной проводящей системе, включающей сосуды и трахеиды ксилемы (восходящий ток) и ситовидные трубки флоэмы (нисходящий ток).

По ксилемным сосудам из корней в надземные части растений поступают вода, ионы и ряд органических веществ, синтезируемых в корнях. Раствор сосудов называется *ксилемным соком*. Ксилемный сок имеет $pH < 7$. Его величина может существенно варьировать, что обусловлено видовой специфичностью и изменениями ионного состава и специфического селективного поступления ионов в ксилему и/или выхода ионов из нее в клетки паренхимы. Состав ксилемного сока (качественный, но особенно количественный) варьирует и зависит от вида и возраста растения, статуса минеральных элементов в тканях, состава и концентрации ионов в среде, их циркуляции в растении, а также времени суток. Как правило, существует положительная корреляция между концентрацией иона в наружном растворе и в ксилемном соке. Но степень концентрирования различается в зависимости от иона и его концентрации в среде.

Количество минеральных веществ, поступающих из корней в надземные органы, зависит не только от их концентрации в ксилемном соке, но и от скорости потока раствора. Существенный вклад в транслокацию ионов из корней в надземные органы может вносить градиент водного потенциала.

Минеральные вещества, поглощенные из почвы, и продукты их первичной ассимиляции в корнях передвигаются как по сосудам, так и по ситовидным трубкам. Такое дублирование повышает надежность транспортной системы. Соотношение того и иного пути зависит от ряда условий: солевого состояния растения, обеспеченности его водой, концентрации питательного раствора.

Дальний транспорт органических питательных веществ в нисходящем направлении осуществляется в основном по флоэме.

Основные различия потоков веществ, перемещаемых по флоэмным и ксилемным сосудам, можно свести к следующему:

- по ксилеме, как правило, не переносятся сахароза и другие сахара (исключение — зимний и весенний транспорт у деревьев или у кукурузы после выметывания пестичных столбиков);
- по флоэме не переносятся ионы нитрата и сульфата;
- концентрация фосфора, органического азота (аминного и амидного) и многих других ионов во флоэмном соке выше, чем в ксилемном (исключение составляет кальций);
- флоэмный сок имеет слабощелочную реакцию, и уровень его pH колеблется незначительно, ксилемный сок кислый;
- скорость флоэмного потока значительно ниже ксилемного. Круговорот минеральных веществ в системе целого растения обеспечивает реутилизацию и рациональное перераспределение минеральных элементов в онтогенезе растения, особенно при формировании репродуктивных органов, а также в периоды действия неблагоприятных факторов, что определяет возможности дальнейшего роста и развития (Алехина Н.Д., Харитонашвили Е.В., 2005).

Итак, существует три типа транспорта поглощенных солей и продуктов их превращения в корне: внутриклеточный, ближний (радиальный) и дальний. Движение элементов минерального питания по растению возможно в любых направлениях: вверх (восходящий ток), вниз (нисходящий ток) и поперек (радиальный транспорт) Передвижение внутри органа происходит по апапласту и симпласту.

5.3.2. Экология минерального питания растений

Реакцию растений на минеральное питание следует рассматривать в сочетании тетраэдра: почва – удобрение – растение – климат (Минеев В.Г., 2004). Поглощение растениями питательных веществ зависит от их биологических особенностей и свойств почвы – реакции, состава и концентрации почвенного раствора, температуры, аэрации, влажности, продолжительности и интенсивности освещения, содержания в почве доступных форм элементов.

5.3.2.1. Состав и концентрация почвенного раствора

Почвенный раствор находится в постоянном и тесном взаимодействии с твердой и газовой фазами почвы и корнями растений, и поэтому состав и концентрация его являются результатом биологических и физико-химических процессов, лежащих в основе этого взаимодействия. Темп и направление указанных процессов подвержены значительной сезонной изменчивости, поэтому и состав почвенного раствора чрезвычайно динамичен. В нем содержатся минеральные, органические и органо-минеральные вещества, представленные ионами, молекулами и коллоидами. Кроме того, здесь присутствуют кислород, диоксид углерода и другие растворенные газы. Из минеральных соединений в почвенном растворе присутствуют анионы: HCO_3^- , NO_2^- , NO_3^- , Cl^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , OH^- и катионы H^+ , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . В сильнокислых почвах могут быть также Al^{3+} , Fe^{3+} , а в заболоченных Fe^{2+} . Железо и алюминий в почвенных растворах содержатся в основном в виде устойчивых комплексов с органическими веществами. Органические соединения в почвенном растворе представлены органическими кислотами, сахарами, аминокислотами, спиртами, ферментами, дубильными веществами и другими продуктами метаболизма растений и микроорганизмов, а также гумусовыми веществами. Органо-минеральные соединения представлены преимущественно комплексными соединениями органических кислот с поливалентными катионами.

Общая концентрация почвенного раствора невелика и, как правило, колеблется в пределах 0,02-0,2 %. Более высокое содержание растворенных веществ бывает лишь в солончаках, солончаковых и солончаковатых почвах. Изучение влияния концентрации почвенного раствора на поглотительную деятельность корней особенно важно при внедрении интенсивной системы возделывания сельскохозяйственных культур, предусматривающей применение высоких доз минеральных удобрений. Нарушение их оптимума может привести к задержке прорастания семян и угнетению проростков даже при достаточной влажности почвы. При повышении концентрации почвенного раствора и изменении ионного состава нарушаются, прежде всего, регуляторные системы, осуществляющие контроль за поглощением элементов минерального питания. Повышение концентрации почвенного раствора увеличивает в растении осмотическое давление, что вызывает нарушение работы устьичного аппарата и усиленную транспирацию. Превышение осмотического давления в почвенном растворе над осмотическим давлением клеточного сока губительно действует на растения, т. к. резко ограничивает поглощение растениями воды и питательных веществ, что приводит к плазмолизу клеток.

Почвенный раствор должен быть физиологически уравновешенным, т. е. не должен быть односторонним. **Физиологически уравновешенным** называется раствор, в котором катионы и анионы находятся в таких соотношениях, при которых происходит наиболее эффективное использование питательных веществ растением.

Все разнообразие взаимодействий элементов с растительным организмом можно свести к трем случаям: аддитивности, синергизму и антагонизму.

Аддитивность (от лат. *additivus* – прибавленный) – действие смеси элементов в растворе равно сумме действия каждого отдельного элемента.

Способность растений поглощать минеральные элементы подчиняется закону постоянства соотношения суммы поглощенных катионов к сумме анионов:

$$\frac{NH_4 + K + Na + Ca + Mg}{NO_3 + Cl + SO_4 + PO_4} = \text{константа}$$

Эта константа больше единицы и специфична для культуры, т.к. растения поглощают катионы в эквивалентно большем количестве, чем анионы. Исходя из этого закона, как катионы, так и анионы могут находиться в антагонистических отношениях или способствовать поступлению друг друга в растения (рис. 49 и 50; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Эле-	N	P	K	S	M	S
B						
Co						
Cu						
Mn						
Mo						
Zn						
Fe						
I						
Si						

■ – синергизм ▨ – антагонизм/синергизм ■ – антагонизм

Рис. 49. Взаимодействие между макро- и микроэлементами в растениях

Антагонизм (от греч. *anti* – против, и *gonizomai* – борюсь). Это такой тип взаимодействия, при котором физиологический эффект действия смеси солей меньше, чем эффект от действия каждой соли, взятой в отдельности. Антагонизм проявляется в том, что катионы разных элементов конкурируют друг с другом при их адсорбции на деятельной поверхности корней, причем здесь сказывается значение их валентности: одновалентные катионы менее конкурентноспособны (исключение составляет H^+), чем двухвалентные. Аналогичное явление с теми же закономерностями наблюдается и между анионами. Антагонизм сильнее проявляется между одноименно заряженными ионами и в ситуации, когда концентрация одного иона в почвенном растворе сильно превышает концентрацию другого. Явление антагонизма установлено между Fe и Ca; Al и Na; Fe и Zn; Mn и Zn; Cu и Zn; Zn и Fe, Mn, Cu, Mo.

Синергизм (от греч. *synergeia* – совместное действие) – взаимное усиление физиологического действия на растение каждого из элементов, входящего в раствор. Синергизм может наблюдаться как между разнозаряженными ионами – катионами и анионами, так и между одноименно заряженными. На практике последнее чаще проявляется при невысоком их содержании в почвенном растворе. Явление синергизма характерно между S и Mn, Zn; Cu и Co, B, Zn; Mn и Co, Mo; Cu и Mo; Cu и Mn; Ca и Co. Синергизм бывает **положительным**, когда суммар-

ное действие отдельных элементов превышает сумму воздействия каждого из них, и *отрицательным*, когда токсическое действие одной соли усиливается токсическим влиянием другой. В процессе питания растений может наблюдаться и аддитивность действия питательных элементов, то есть действие питательных элементов может быть равным сумме действия каждого из них.

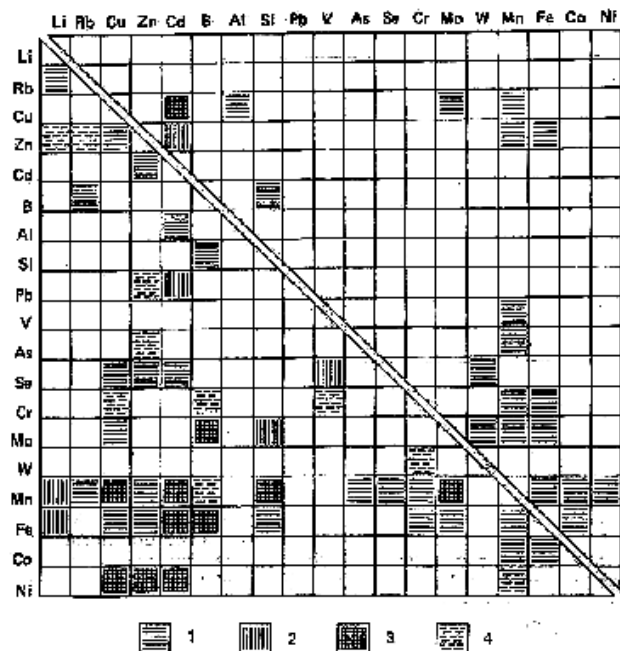


Рис. 50. Взаимодействие микроэлементов в самих растениях и в среде, окружающей корни растений:
1 – антагонизм; 2 – синергизм; 3 – антагонизм и/или синергизм; 4 – возможный антагонизм

В составе почвенного раствора весьма токсичны алюминий, марганец и водород. Они угнетают рост корней, особенно в кислой среде при низком содержании кальция и магния. Для большинства растений содержание обменного алюминия – 2 ммоль/кг почвы ингибирует рост надземных и подземных органов растения, но они в состоянии выдерживать более высокие концентрации марганца, чем алюминия. Отравление этим элементом сказывается на надземных органах сильнее, чем подземных. Отрицательное влияние ионов водорода на корневую систему связано, прежде всего, с переходом в почвенный раствор алюминия, марганца и других токсичных для растений химических элементов. Тормозится рост корней от недостатка ионов кальция в почвенном растворе. Это четко наблюдается, когда доля Ca/Σ катионов в почвенном растворе меньше 0,2.

5.3.2.2. Реакция почвенного раствора

Химические и физические процессы в почве, а следовательно, и условия питания растений во многом зависят от реакции почвенного раствора, которая определяется соотношением в нем ионов H^+ и OH^- . Если концентрация их одинакова, то реакция почвенного раствора будет нейтральной, в случае преобладания катионов H^+ – реакция кислая, а анионов OH^- – щелочная.

Нейтральной принято считать реакцию, при которой концентрация ионов H^+ и OH^- в дистиллированной воде будет равна $1 \cdot 10^{-7}$. Произведение концентраций этих ионов для воды является величиной постоянной: $[H^+] \cdot [OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}$. Для удобства реакцию среды выражают в виде отрицательного логарифма концентрации (точнее активности) ионов водорода и обозначают символом рН. Таким образом, рН 7 соответствует нейтральной реакции, рН ниже 7 – кислой и рН выше 7 – щелочной.

Растения предъявляют различные требования к реакции почвенного раствора. Для большинства из них оптимум рН среды находится около 7,0, однако нормальное их развитие возможно в довольно широком диапазоне: от 4,5-5,0 до 6,5-7,5 рН (табл. 28; Авдонин Н.С., 1982).

Таблица 28. Оптимальные значения реакции почвенного раствора для сельскохозяйственных культур

Культура	Оптимальный интервал рН	Культура	Оптимальный интервал рН
Рожь	5,5-7,5	Фасоль	6,4-7,1
Овес	5,0-7,7	Бобы	5,0-7,0
Пшеница	6,0-7,5	Вика	6,0-6,8
Ячмень	6,8-7,5	Люпин	4,0-6,0
Кукуруза	6,0-7,0	Чечевица	5,5-7,2
Сорго	7,0-7,5	Картофель	5,0-5,7
Просо	5,5-7,5	Турнепс	6,0-6,5
Рис	4,0-7,5	Свекла кормовая	6,2-7,5
Гречиха	4,7-7,5	Свекла сахарная	7,0-7,5
Соя	6,5-7,1	Морковь	5,5-7,0
Горох	6,0-7,0	Брюква	4,8-5,5
Сераделла	5,4-6,5	Подсолнечник	6,0-6,8
Редис	5,5-7,3	Лен	6,0-6,5
Конопля	7,0-7,5	Кенаф	6,0-7,3
Хлопчатник	5,5-7,3	Мак	6,8-7,2
Цикорий	6,8-6,5	Капуста	6,0-7,4
Помидоры	6,3-6,7	Огурцы	6,4-7,0
Салат	6,0-6,5	Лук	6,4-7,9
Люцерна	7,0-8,0	Чай	4,5-6,0
Клевер	6,0-7,0	Тимофеевка	5,0-6,5
Костер	7,0-7,5	Лисохвост	5,3-6,0

Реакция почвенного раствора оказывает на растение прямое и косвенное действие. **Прямое действие** заключается в нарушении коллоидно-химических свойств протоплазмы растительных клеток, неблагоприятном изменении концентрации органических кислот в клеточном соке, нарушении белкового обмена и торможении синтеза белка, изменении адсорбции и поглощения растениями ионов.

Косвенное воздействие реакции почвенного раствора выражается влиянием не на само растение, а на условия, от которых зависит его нормальное состояние. Среди этих условий, в первую очередь, следует отметить влияние рН на жизнедеятельность почвенной микрофлоры и свойства почвы, а также характер поступления анионов и катионов в растения (рис. 51; Полевой В.В., 1989).

Подкисление почвы резко снижает фиксацию атмосферного азота свободноживущими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями бобовых растений. При низких значениях рН ингибируется процесс азотфиксации

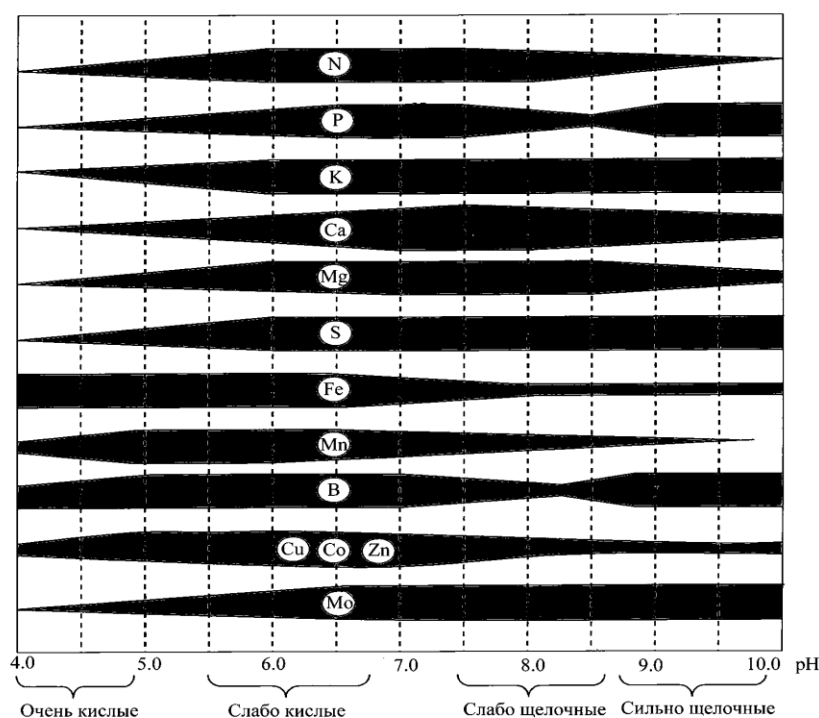
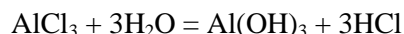


Рис. 51. Влияние pH на доступность минеральных элементов для растений

свободно живущими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями, что снижает обеспеченность растений азотом. Реакция почвенного раствора имеет важное значение и при поглощении растениями фосфора, т. к. при постепенном подщелачивании среды в почве начинают преобладать не одновалентные фосфаты (H_2PO_4^-), а слабо растворимые двухвалентные (HPO_4^{2-}) и, наконец, практически нерастворимые трехвалентные (PO_4^{3-}). Одна из причин угнетающего действия кислотности на растения – затруднения кальциевого питания. Водородные ионы не только задерживают поступление кальция в растение, но и вытесняют из него уже поглощенный. Вытеснение ионов кальция ионами водорода происходит из-за более высокой энергии поглощения последнего адсорбирующей поверхностью корневой системы. Подкисление почвенного раствора снижает доступность растениям молибдена и повышает доступность бора. На кислых почвах растворимых форм железа более чем достаточно, а на карбонатных – его часто не хватает, вследствие чего у растений появляется хлороз листьев. Аналогичное явление наблюдается и с марганцем. На почвах с нейтральной и щелочной реакцией он находится в окисленной форме и слабо доступен растениям. На кислых почвах, наоборот, подвижные формы марганца находятся в избытке и вредят растениям. При кислой реакции ухудшается питание растений калием, магнием, серой, кобальтом, медью и цинком.

Азотное питание растений одинаково ухудшается как при подкислении, так и подщелачивании почвы. Особенно тесно с реакцией почвенного раствора связана обеспеченность почв подвижными формами алюминия. Чем кислее почва, тем больше в ней подвижных форм алюминия, которые сами могут

действовать на растение токсически, отравляя его, т.к. интенсивно поступают в растение при кислой рН. Кроме того, благодаря гидролитическому распаду алюминий может служить источником свободных кислот в почве:



Понижение рН способствует более интенсивному поступлению в растения анионов, тогда как увеличение рН – поступлению катионов. Связано это с чрезвычайно высокой подвижностью ионов H^+ и OH^- . Влияние, которое рН оказывает на относительную скорость поглощения анионов и катионов растением, в общем незначительно. Находясь в зависимости от кислотности среды, растение в то же время способно в известной степени само воздействовать на величину рН почвенного раствора, как бы приспособляя среду к своим потребностям. Сдвиги рН зависят от двух причин: от наличия корневых выделений, подщелачивающих или подкисляющих почвенный раствор, и от физиологической щелочности и кислотности солей. Сами по себе соли, усваиваемые растениями, не являются кислыми или щелочными. В большинстве случаев они нейтральные. В то же время они вызывают подкисление или подщелачивание почвенного раствора в результате жизнедеятельности растения. Неравномерно поглощая катионы и анионы солей, растение вызывает сдвиг реакции среды в кислую или щелочную сторону. Так, например, сернокислый аммоний является физиологически кислой солью, т.к. катион NH_4^+ поглощается в большем количестве, чем анион SO_4^{2-} . Нитраты – это физиологически щелочные соли, т.к. анион NO_3^- поглощается интенсивнее, чем катион натрия или калия (KNO_3 и NaNO_3). В этом случае, благодаря явлению обменной адсорбции, накапливается избыток гидроксильных ионов и раствор подщелачивается. Явление физиологической щелочности и кислотности солей играет большую роль при применении удобрений, где с этим обстоятельством приходится считаться. Кроме того, растения могут изменить кислотность почвы, во-первых, благодаря выделению в среду образовавшихся при дыхании анионов HCO_3^- , которые необходимы для уравнивания поглощенных анионов (в частности NO_3^-), и увеличению подвижности фосфора; во-вторых, в результате выделения корнями в процессе активного транспорта ионов водорода; в-третьих, выделением органических веществ, которые могут иметь различную кислотность сами по себе (органические кислоты) или приобретать ее в результате использования их микрофлорой ризосферы. Последняя, участвуя в превращениях минеральных элементов в почве, также активно воздействует на ее кислотность, продуцируя масляную, молочную и другие кислоты.

5.3.2.3. Окислительно-восстановительные процессы в почвах

Почва – сложная окислительно-восстановительная система. В ней присутствует большое количество разнообразных веществ минеральной и органической природы, способных вступать в реакции окисления и восстановления. Наиболее часто здесь функционируют следующие окислительно-восстановительные (ОВ) системы: $\text{O}_2\text{--O}^{2-}$, $\text{Fe}^{3+}\text{--Fe}^{2+}$, $\text{Mn}^{4+}\text{--Mn}^{3+}\text{--Mn}^{2+}$, $\text{H}_2\text{--2H}^+$, $\text{SO}_4^{2-}\text{--H}_2\text{S}$, $\text{CO}_2\text{--CH}_4$. Помимо них, в почвах присутствуют и органические ОВ системы. Окислительно-восстановительные процессы оказывают влияние на плодородие почв и питание растений. С ними связаны процессы трансформации растительных остатков, темпы накопления гумуса, а также его групповой и фракционный состав. Избыточное увлажнение и устойчивая восстанови-

тельная обстановка замедляют разложение растительных остатков, обуславливают возрастание в составе гумуса доли фульвокислот и негидролизуемого остатка. Периодическая смена окислительно-восстановительного режима, имеющая место в орошаемых почвах и поймах рек, способствует активизации процессов разложения растительных остатков, что является одной из причин нарушения углеродного баланса этих почв, их дегумификации. ОВ режим почв оказывает существенное влияние на содержание и соотношение в почве элементов различной степени окисления, что имеет немаловажное значение в питании растений. Питательный режим почв складывается для растений неблагоприятно как при резко окислительной, так и при глубоко восстановительной обстановке. Повышение окислительно-восстановительного потенциала почвы (Eh) до 700-750 мВ приводит к существенному уменьшению подвижности железа, марганца и отчасти азота. Результатом этого является резкое ухудшение питания растений данными элементами. Снижение Eh до 200-250 мВ, наоборот, приводит к накоплению восстановленных соединений железа и марганца в количествах, токсичных для растений. Кроме того, анаэробноз способствует появлению в почвах сероводорода, фосфатидов, этилена и других, токсичных для растений, соединений. Самым тесным образом с ОВ состоянием почвы связаны процессы превращения соединений азота – нитрификация и денитрификация. Процесс нитрификации наиболее интенсивно протекает при значениях Eh порядка 550-600 мВ. С развитием восстановительных процессов господствующим в почве становится процесс денитрификации, с которым связаны основные потери азота из почвы.

И.П. Сердобольский предложил графический способ определения нормального питания растений марганцем, железом и нитратами в зависимости от Eh и pH (рис. 52).

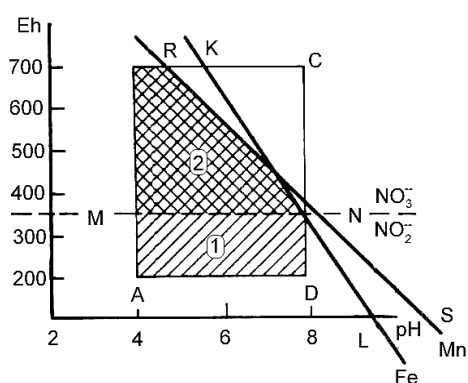


Рис. 52. Граничные условия нормального питания растений:

- 1-область нормального снабжения растений железом и марганцем;
- 2-область нормального снабжения растений железом, марганцем и нитратами

На этом графике прямоугольник ABCD охватывает типичные условия для большинства почв. Прямая RS ограничивает область нормального снабжения растений марганцем. Если Eh и pH таковы, что условия питания попадают в область, расположенную выше и правее прямой RS, то растения испытывают марганцевое голодание. Аналогично, прямая KL ограничивает область нормального питания железом. Линия MN, проведенная на уровне 340 мВ, отде-

ляет область усиленной денитрификации. Следовательно, наиболее благоприятные для питания марганцем и железом условия ограничиваются заштрихованной площадью, а с учетом денитрификационных процессов – площадью, отмеченной двойной штриховкой.

Основные приемы регулирования ОВ процессов в почве, а следовательно, и питания растений – улучшение ее структурного состояния, водного и воздушного режимов, что осуществляется с помощью таких агротехнических приемов как вспашка, прикатывание, орошение, дренирование.

5.3.2.4. Содержание воды

Содержание воды в почве является важным фактором, влияющим на интенсивность роста корней, доступность и поглощение растениями минеральных элементов. Ее влияние на поступление в растения питательных веществ обусловлено: 1) усилением физиологических процессов у растений, так как нормальная оводненность тканей способствует улучшению обмена веществ, который во многом определяет поглощение корнями питательных элементов; 2) возрастанием массы корней и увеличением в связи с этим их общей адсорбирующей поверхности; 3) универсальностью воды, как среды диффузии ионов из почвенного раствора и почвенно-поглощающего комплекса к корням. Чрезмерно низкое или высокое содержание воды в почве оказывает настолько сильное влияние на рост корней, что трудно отличить прямое действие на поглощение минеральных веществ от косвенного, вызванного изменениями скорости роста и дифференциации корней. В насыщенных водой почвах происходит денитрификация, а в сухих – активность микробов понижена. В переувлажненных почвах концентрация восстановленных форм железа и марганца резко возрастает и может достигнуть токсичного для растений уровня, а в сухих почвах, наоборот, у растений проявляются симптомы дефицита этих элементов. Растения, растущие на сухой почве, как правило, испытывают фосфорную и калийную недостаточность, т.к. эти элементы связываются почвой, и к тому же рост корней понижен и их адсорбирующая и поглощающая поверхность уменьшается. Степень насыщения почвы влагой оказывает влияние на аккумуляцию ионов корнями путем изменения количества, состава и подвижности почвенного раствора. Снижение поглощения ионов минеральных солей корнями при низком уровне влаги в почве обуславливается нарушением целостности водяной пленки почвы. При этом резко уменьшается растворяющая способность почвенной воды. В результате понижения уровня почвенной влаги уменьшается полнота скопления катионов вокруг почвенных частиц. Рациональным агротехническим способом улучшения водного режима почвы является орошение.

5.3.2.5. Освещенность

Одним из условий существования растительного организма является свет. Несмотря на то, что корни растений сами по себе и не подвергаются световым воздействиям, периодическая смена дня и ночи отражается на них через метаболизм надземных органов. Изменение освещения сопровождается закономерными сдвигами в физиологической активности корней и поглощении ими питательных элементов из почвенного раствора. Как правило, свет оказывает положительное влияние на эти процессы. Он действует на процессы поглощения ионов растениями посредством влияния на транспирацию, проницаемость клеточных мембран и фотосинтетическую активность. Кроме того, растительные клетки способны накапливать ионы против градиента кон-

центрации, используя для этого в качестве источника энергии свет. При затенении растений, наоборот, возможно освобождение ионов из связанного состояния и выход их из клеток в питательную среду.

Уменьшение освещенности отрицательно сказывается и на поступлении в растения азота. Причем, свет сильнее влияет на поглощение растениями аммония, чем нитратов. Последние при поступлении через корни в растение предварительно должны быть восстановлены. Следовательно, более сильное усвоение аммонийного азота объясняется меньшими энергетическими затратами, чем усвоение нитратов.

При затенении растения или уменьшении освещенности, обычно в пасмурную погоду, резко уменьшается поступление и усвоение ими фосфора. На этот процесс оказывает влияние не только интенсивность освещения, но и спектральный состав света. Под воздействием коротковолновой (380-580 нм) радиации эти процессы активизируются более существенно, чем длинноволновой (580-730 нм), что объясняется особой ролью фосфора в энергетических процессах. Кроме того, именно через фосфорный обмен осуществляется взаимосвязь углеродного и минерального питания.

Затенение растений, хотя и в меньшей степени, но все же угнетает поступление в растения калия. Поэтому растения особенно нуждаются в этом элементе в пасмурную погоду, что проявляется в благоприятном действии высоких доз калийных удобрений в годы с повышенной облачностью. В данном случае не исключена возможность, что калий, обладая радиоактивностью, может участвовать в энергетических процессах в растениях и этим компенсировать недостаток освещения в пасмурную погоду. Применение повышенных доз азота и фосфора под культурные растения целесообразно только в условиях высокой интенсивности освещения, а калия – при недостатке освещения, что следует учитывать в полевых условиях.

Ввиду большого влияния условий освещения на питание растений возникает необходимость в разработке приемов их регулирования в естественной обстановке. Улучшить световой режим позволяет правильный подбор способов посева и формирование оптимального стеблестоя растений. Немаловажное значение имеет и направление рядков. Для юго-восточной зоны наиболее благоприятным является направление рядков с запада на восток, поскольку при этом уменьшается вредное влияние избыточной инсоляции на растения в полуденное время. В северо-западной зоне наилучшее освещение растений в посевах достигается при направлении их с севера на юг. Освещенность посевов можно улучшить, регулируя не только густоту растений, но и их рост. Перспективным в этом отношении является создание низкорослых сортов. Оптимальные размеры листового аппарата благоприятствуют наилучшему освещению растений, более полному поглощению энергии солнечной радиации, повышению физиологической и метаболической активности корней.

5.3.2.6. Аэрация и питание растений

На интенсивность углеродного и минерального питания растений существенное влияние оказывают состав атмосферы и почвенного воздуха. Концентрация углекислоты в воздухе, воздействуя на надземные органы – листья, оказывает существенное влияние на поглощение азота, фосфора, калия и микроэлементов корневой системой растений.

В зависимости от содержания углекислоты в воздухе, поступление фосфат- и нитрат-анионов, а также катионов аммония и калия происходит неоди-

наково. Между поглощением NH_4^+ , H^+ и содержанием углекислоты в воздухе наблюдается прямая коррелятивная зависимость, а между поглощением NO_3^- , HPO_4^{2-} – обратная зависимость. Этим положением следует руководствоваться при решении вопроса о применении удобрений. В процессе дыхания корни потребляют кислород и выделяют диоксид углерода, поэтому необходим газообмен между почвенным воздухом и атмосферой. Минимальное содержание кислорода в почвенном воздухе, обеспечивающее жизнедеятельность растений, варьирует от вида к виду, однако, обычно рост корней заметно тормозится при падении концентрации кислорода ниже 10 %, а при его содержании менее 5 % развитие корней может совершенно прекратиться. Исключением из этого правила являются рис и культуры, имеющие специальную воздухоносную ткань – аэренхиму. Они хорошо растут при наличии весьма ограниченного количества кислорода в зоне распространения корней.

На рост и поглотительную способность корней оказывает влияние также содержание диоксида углерода. Для оптимального роста растений концентрация диоксида углерода в почвенном воздухе должна составлять не более 1 %. Растения переносят увеличение концентрации диоксида углерода до 15 %. Однако это оказывает неблагоприятное влияние на жизнедеятельность корней: задерживается их рост, подавляются процессы аммонификации и нитрификации, снижается поступление азота и фосфора в растение, тормозится синтетическая активность.

Приемы регулирования состава почвенного воздуха направлены на увеличение пористости (воздухоёмкости) почвы. Улучшение условий для проникновения в почву воздуха, а из почвы в атмосферу углекислоты может быть достигнуто при рациональной обработке почвы под сельскохозяйственными культурами.

5.3.2.7. Температура и питание растений

Нормальное питание растений возможно лишь в известных пределах температуры окружающей среды. Оптимальной для большинства культур является температура 25-30°C. Для хорошего роста корней температура почвы должна быть на 1-2°C ниже температуры воздуха. При экстремальных температурных условиях нормальное питание растений невозможно. Замедление поглощения растениями фосфора происходит при температурах 10-11°C, нитратного азота – 5-6°C, калия 7-8°C. Следовательно, температура 5-6°C является критической для поступления элементов минерального питания в растения. По снижению интенсивности поступления в растения при понижении температуры элементы питания располагаются в следующий ряд: $\text{PO}_4 > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{K} > \text{Mg} > \text{NH}_4$, т.е. при похолодании в первую очередь замедляется поступление фосфора и нитратов, а в последнюю – магния и аммония. Иначе говоря, усвоение аммонийного азота происходит при более низких температурах, чем нитратного. По-видимому, низкие температуры в большей степени ингибируют процесс восстановления нитратов до аммиака, чем использование готового аммиака для образования аминокислот. Низкие температуры в начале вегетации существенно ослабляют поглощение растениями фосфора, что приводит к его дефициту и тормозит процессы дыхания и фотосинтеза. Минерализация азота также замедляется при понижении температуры.

Отрицательное влияние пониженных температур на поглощение растениями минеральных элементов из почвенного раствора обусловливается, в первую очередь, ослаблением интенсивности дыхания и проницаемости протоплазмы. Это может происходить также и из-за замедления химических ре-

акций, происходящих при активном поглощении, и за счет повышения вязкости, а следовательно, и снижения проницаемости клеточных мембран. Причиной снижения интенсивности поглощения питательных элементов может быть и ослабление образования макроэргических связей фосфора, а также замедление процессов активизации гексоз, гликолиза и дыхания.

Отклонение температуры от оптимального интервала в сторону повышения также неблагоприятно отражается на росте растений и усвоении ими питательных элементов. При 40-50°C интенсивность поглощения питательных элементов из почвенного раствора резко снижается. Падение скорости поглощения питательных элементов растениями при высоких температурах объясняется постепенной инактивацией ферментных систем, участвующих в этих процессах, а также повышением проницаемости цитоплазмы, в результате чего усиливается пассивная утечка элементов питания. Одним из приемов повышения температуры почвы является улучшение ее дренированности. Снег защищает почву от проникновения холодного воздуха, вследствие чего она промерзает на меньшую глубину в суровую, но снежную зиму, чем в менее морозную, но бесснежную. Существенное влияние на температуру почвы оказывает растительность. В ясную погоду днем температура воздуха над посевами выше, чем у поверхности почвы, а ночью – ниже. Над лишенной растительности почвой, наоборот, температура воздуха ниже, чем температура поверхности почвы в течение дня, но выше в течение ночи. Защитное влияние растительности может проявляться в зимний период, поскольку она уменьшает проникновение холода в почву. Температура почвы зависит и от рельефа. Поверхность почвы прогревается сильнее, если солнечные лучи падают на нее под прямым углом. Следовательно, в северном полушарии южный склон теплее, чем северный.

5.3.2.8. Почвенная микрофлора и питание растений

Питание растений осуществляется при тесном взаимодействии с микрофлорой почвы, масса которой в пахотном слое достигает до 8 т/га. Наибольшее количество микроорганизмов сосредоточено в ризосфере. Почвенная микрофлора оказывает сильное воздействие на превращение питательных веществ в почве и доступность их растениям. Микроорганизмы осуществляют процесс аммонификации – разложения азотосодержащих соединений с выделением аммиака. Последний частично адсорбируется почвой и потребляется растениями и микроорганизмами как источник азота, а также выделяется в атмосферу, окисляется до нитритов и нитратов. Образовавшиеся нитраты используются растениями в качестве источника азота, вымываются из пахотного слоя почвы фильтрационными водами, закрепляются микроорганизмами в процессе ассимиляторной нитратредукции, восстанавливаются до молекулярного азота в результате денитрификации. Восстановление нитратов до молекулярного азота – широко распространенный процесс в переувлажненных почвах. В результате денитрификации в атмосферу ежегодно поступает 270-330 млн.т молекулярного азота. Этот процесс по масштабам сравним с азотфиксацией. Денитрификация – одна из причин невысоких коэффициентов использования растениями азота из удобрений и почвы.

Микроорганизмы разлагают находящиеся в почве растительные остатки, мертвые тела почвенной фауны и органические удобрения, в результате чего содержащиеся в них питательные элементы становятся доступными для растений. Наряду с этим они способствуют переводу труднорастворимых соеди-

нений питательных элементов почвы в подвижные доступные растениям формы, а также фиксируют молекулярный азот атмосферы. Последнее осуществляется клубеньковыми бактериями бобовых растений и свободноживущими почвенными микроорганизмами. Ризосферные микроорганизмы выступают и в роли биологических закрепителей легкорастворимых соединений питательных элементов, тем самым предохраняя их от процессов геологического выноса из пахотного слоя почвы. Имобилизация питательных элементов микроорганизмами носит временный характер, т.к. после их отмирания и разложения эти питательные вещества вновь переходят в почвенный раствор и легко усваиваются растениями.

Ризосферные микроорганизмы утилизируют растительные токсины. Если бы не было ризосферных микроорганизмов, то растения погибли бы от накопления в ризосфере собственных метаболитов. Кроме всего этого микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности выделяют огромное количество стимуляторов роста, ферментов и витаминов, которые легко усваиваются растениями. Микроорганизмы продуцируют также антибиотики*, обладающие фунгистатичностью. Прикорневая микрофлора почвы может выполнять не только положительную, но и отрицательную роль. Так, некоторые микроорганизмы могут выступать и как антагонисты в питании растений. К ним относятся целлюлозо- и гемицеллюлозоразрушающие микроорганизмы, которые потребляют азот и фосфор из легкодоступных соединений, тем самым ухудшая питание растений. Многие микроорганизмы выделяют токсичные для растений вещества.

5.3.3. Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста и вынос элементов урожаем

Количество и соотношение потребляемых питательных элементов зависит от наследственной природы самого растения и условий внешней среды. Растения различаются и продолжительностью периода питания. Под этим понимается отрезок времени, в течение которого растения поглощают питательные вещества из внешней среды. Он не всегда совпадает с вегетационным периодом. На начальных этапах онтогенеза растение использует питательные вещества исключительно из семян, а к концу вегетации – удовлетворяют свои потребности за счет реутилизации ранее накопившихся элементов питания. Потребность в элементах питания определяется по их выносу с биомассой растений, либо в пересчете на основную и побочную продукцию. К началу созревания накопление элементов минерального питания в растении достигает максимума. Это соответствует понятию "потребность растений в питательных элементах". На последних этапах онтогенеза растений наблюдаются потери элементов питания в результате опадения листьев, оттока их из корней в почву. В естественных биоценозах поглощенные элементы питания возвращаются в почву после отмирания растений. В агроценозах с убранным урожаем сельскохозяйственных растений поглощенные элементы питания из почвы отчуждаются. Величина выноса минеральных элементов зависит от вида и продуктивности растения, а также от почвенно-климатических условий (табл. 29; Ионас В.А., Вильдфлуш И.Р., Кукреш С.П., 1998). Различают

* Антибиотики (от *анти...* греч. *bios* – жизнь) – специфические химические вещества, образуемые микроорганизмами и способные в малых количествах оказывать избирательное токсическое действие на другие микроорганизмы.

биологический и хозяйственный вынос питательных элементов. Под *биологическим выносом* понимают количество питательных элементов, потребляемое растениями для создания биологической массы урожая, т. е. зерно + солома + пожнивно-корневые остатки, а также питательные элементы, частично переходящие из корней в почву. Его можно условно разделить на две части: хозяйственную и остаточную. *Хозяйственный вынос* – это количество питательных веществ, отчуждаемое с поля урожаем основной и побочной продукции. Остаточная часть выноса включает питательные элементы, которые остаются в поле в составе пожнивно-корневых остатков, опавших листьев, потерь зерна и половы, а также некоторого количества питательных элементов, перешедших из корней в почву.

Таблица 29. Вынос элементов питания с 1 ц основной и соответствующим количеством побочной продукции, кг

Культура	Вид продукции	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Пшеница	зерно	2,50	1,08	1,92	0,47	0,31	0,50
Рожь	зерно	2,80	1,21	2,33	0,41	0,31	0,60
Ячмень	зерно	2,50	1,11	2,50	0,46	0,30	0,71
Тритикале	зерно	2,60	1,15	2,10	0,42	0,32	0,86
Овес	зерно	2,59	1,24	2,86	0,42	0,33	1,20
Гречиха	зерно	3,75	1,98	4,82	0,81	0,34	0,80
Просо	зерно	3,00	1,20	3,00	0,36	0,18	1,20
Рис	зерно	2,16	1,10	2,86	0,30	0,38	0,96
Кукуруза	зерно	2,95	1,15	3,29	0,50	0,31	0,61
Фасоль	зерно	4,50	1,07	3,79	2,15	0,51	0,80
Горох	зерно	5,89	1,40	2,90	2,40	0,48	1,05
Лен	волокно	5,81	2,29	7,30	2,30	0,78	1,60
Конопля	волокно	6,02	3,28	5,04	7,43	0,80	2,16
Картофель	клубни	0,54	0,16	1,07	0,51	0,17	0,08
Свекла:сахарная	корни	0,40	0,16	0,65	0,16	0,12	0,16
кормовая	корни	0,35	0,11	0,78	0,19	0,08	0,10
столовая	корни	0,50	0,16	0,74	0,19	0,09	0,11
Капуста	кочаны	0,40	0,10	0,43	0,18	0,10	1,12
Огурцы	плоды	0,13	0,05	0,23	0,12	0,10	0,07
Помидоры	плоды	0,16	0,05	0,28	0,20	0,12	0,10
Лук	луковицы	0,30	0,12	0,40	0,20	0,11	0,26

Для предотвращения истощения почвы и получения запланированных урожаев сельскохозяйственных культур необходимо внесение удобрений. Сопоставляя количество элементов в почве и растении с величиной урожая, немецкий агрохимик Ю. Либих сформулировал закон минимума (или закон ограничивающих факторов). Согласно этому закону, величина урожая определяется, прежде всего, количеством в почве того элемента, который находится в относительном минимуме. Увеличение содержания этого элемента в почве за счет внесения удобрений будет приводить к возрастанию урожая пропорционально вносимым дозам до тех пор, пока в минимуме не окажется другой элемент. Этот закон, справедливый в условиях внесения простых удобрений, трансформировался в представление о критических периодах. Под *критическим* понимают период, когда недостаток питательных веществ

резко ограничивает рост и развитие растений, что отрицательно сказывается на продуктивности. Как правило, это происходит в первые фазы вегетации, когда поступление питательных веществ опережает накопление общей биомассы растения. В начальный период развития растения потребляют относительно небольшие абсолютные количества всех без исключения питательных элементов, но весьма чувствительны как к недостатку, так и к избытку их в почвенном растворе. В отношении азота, фосфора и других органогенных элементов критический период для культурных растений проявляется в первые 10-15 дней после появления всходов. Это обусловлено высокой интенсивностью синтетических процессов у молодых растений еще при слабо развитой корневой системе. Кроме того, критический период в отношении минерального питания обычно совпадает с низкой активностью микроорганизмов, разлагающих органическое вещество почвы. Необходимо знать, что недостаток питательных элементов в критический период нельзя устранить последующим обеспечением ими растений, но его можно избежать при основном или локальном способах внесения соответствующих удобрений.

Помимо критического периода, выделяют *период максимального потребления* элементов питания в растения, под которым понимается период наибольшего поглощения питательных веществ. Он в большинстве случаев совпадает со временем интенсивного роста и наибольшего накопления сухого вещества. Темпы накопления сухого вещества в этот период опережают поступления питательных элементов, что приводит к "эффекту разбавления" питательных элементов, т.е. относительное их содержание в тканях растений снижается по сравнению с предшествующим периодом. Недостаток питательных веществ в этот период может быть возмещен подкормкой растений.

Питательные вещества потребляются с различной интенсивностью, определяемой биологическими особенностями растений и этапом онтогенеза*. Не совпадают также и периоды наибольшей потребности в отдельных элементах. У молодых растений поступление питательных элементов всегда существенно опережает накопление сухого вещества. В расчете на единицу биомассы содержание элементов питания у растений в молодом возрасте значительно больше, чем в более поздние периоды развития. Различия в поглощении растениями отдельных элементов определяются химической природой соединений, в виде которых данный элемент находится в тканях растения. Элементы, соединения которых подвижны, весьма активно поглощаются растениями на ранних этапах развития. Они поступают в растение со скоростью, превышающей накопление тем же организмом сухих веществ. Что касается элементов, дающих мало подвижное соединение, то их поглощение идет более или менее пропорционально синтезу сухих веществ, а в ряде случаев – даже отстает от последнего. Рациональная система удобрения должна учитывать меняющиеся в течение онтогенеза потребности растений в элементах питания, своевременно обеспечивать ими в необходимых количествах, соотношениях и в наиболее эффективных формах.

* Онтогенез (от греч. *ὄν*, родительный падеж *όντος* – сущее... *генез*), *онтогенез*, индивидуальное развитие особи, вся совокупность ее преобразований от зарождения (оплодотворения яйцеклетки, начало самостоятельной жизни органа вегетативного размножения или деление материнской одноклеточной особи) до конца жизни (смерть или новое деление особи). Термин "онтогенез" введен Э. Геккелем (1866).

6. ПОЧВА – ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА И ИСТОЧНИК ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ РАСТЕНИЙ

Задачи оптимизации функции почвы как источника элементов питания не исчерпываются устранением дефицита необходимых питательных веществ и ликвидацией токсических концентраций некоторых элементов. Не менее важной оказывается создание благоприятных условий поступления необходимых элементов в организм растения.

Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 1990

Почва – экологический гарант жизни на Земле и в этом ее функциональное значение в системе других природных тел.

Л.О. Карпачевский, 2005

Почва – самостоятельное естественно-историческое органо-минеральное природное тело, возникшее на поверхности Земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды, воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия. Выделяют четыре физические фазы почвы – твердую, жидкую, газовую и живую.

6.1. Жидкая фаза почвы

Вода в почве и грунте вместе с содержащимися в ней растворами есть настоящая кровь живого организма. Поэтому в почвообразовании режиму воды следует отводить первое место.

Г.Н. Высоцкий, 1927

Жидкая фаза почвы представляет собой почвенный раствор, который формируется из воды, поступающей в почву с атмосферными осадками, из грунтовых вод, при конденсации водяных паров. При орошении дополнительным резервом влаги для почвенных растворов становятся поливные воды. Жидкая фаза почвы является наиболее мобильной, динамичной и в то же время активной ее частью. Почвенный раствор играет настолько важную роль в почвообразовании и питании растений, что Г.Н.Высоцкий образно назвал "кровью" почвы, а В.И.Вернадский считал его одной из важнейших категорий вод, "основным субстратом жизни", "основным элементом механизма биосферы". В почвенном растворе совершаются процессы разрушения и синтеза гумусовых веществ, формирования вторичных минералов, образования органо-минеральных соединений. Из почвенного раствора растения получают необходимые питательные вещества и воду. Вследствие того, что одни вещества почвы могут поглощаться растениями, микроорганизмами и коллоидами, а другие могут оставаться в почвенном растворе, между жидкой и твердой фазами почвы устанавливается динамическое адсорбционное равновесие. В почвенном растворе минеральные и органические вещества находятся в молекулярном, коллоидном и ионном состоянии. Кроме того, здесь присутствуют кислород, диоксид углерода и другие растворенные газы.

Органические соединения почвенного раствора представлены гумусовыми кислотами и их солями (в нейтральных почвах – фульваты кальция и магния; в сильно-

кислых – фульваты алюминия и железа; в щелочных – гуматы натрия), винной, щавелевой и другими органическими кислотами и их солями, а также сахарами, аминокислотами, спиртами, ферментами, дубильными веществами, извлекаемыми из растительных остатков или же образующимися в результате биохимических процессов. Минеральные соединения в почвенном растворе представлены преимущественно анионами HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} и катионами H^+ , Na^+ , K^+ , Li^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} . В чрезвычайно малых количествах в почвенном растворе присутствуют ионы Co^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} и других микроэлементов. Алюминий, железо, а также медь, ванадий, никель, хром и другие микроэлементы в почвенном растворе содержатся преимущественно в виде комплексных органо-минеральных соединений, где органическая часть комплексов представлена гумусовыми и низкомолекулярными органическими кислотами, полифенолами и другими органическими веществами.

Качественный и количественный состав раствора в разных почвах неодинаков. Даже в одной и той же почве его состав изменяется по генетическим горизонтам. Наиболее богат органическими соединениями почвенный раствор болотных и целинных дерново-подзолистых, а в пределах одной почвы – органо-генный и гумусовый горизонты. Вниз по профилю почв количество органических соединений в почвенном растворе резко снижается в результате их закрепления и минерализации в верхних горизонтах. В каштановых почвах, черноземах, сероземах и солонцах в составе почвенных растворов нижних горизонтов увеличивается содержание минеральных соединений – карбонатов, гипса и легкорастворимых солей.

Вещества в почвенном растворе обуславливают его осмотическое давление, величина которого возрастает с повышением концентрации растворенных соединений. Осмотическое давление раствора у различных почв неодинаково и колеблется от $1,01-3,03 \cdot 10^5$ до $10,1-20,2 \cdot 10^5$ Па ($1,01 \cdot 10^5$ Па = 1 атм). Осмотическое давление клеточного сока корневой системы большинства культурных растений не превышает $5,05-8,08 \cdot 10^5$ Па. Нормальное потребление растениями воды и питательных веществ происходит только при условии, когда осмотическое давление почвенного раствора ниже осмотического давления клеточного сока корневой системы. Поэтому, все проводимые агротехнические приемы не должны привести к увеличению осмотического давления почвенного раствора выше осмотического давления клеточного сока у возделываемых культур. В противном случае это влечет за собой ряд неблагоприятных последствий для роста и развития растений.

В зависимости от концентрации почвенного раствора все почвы делятся на две группы – незасоленные и засоленные. **Незасоленными** называются такие почвы, у которых концентрация почвенного раствора не превышает нескольких граммов на 1 л при содержании легкорастворимых солей менее 0,25 %. Осмотическое давление их раствора не превышает $1,01-8,08 \cdot 10^5$ Па, что благоприятно для возделывания большинства сельскохозяйственных культур. Состав почвенного раствора в незасоленных почвах определяется характером и интенсивностью биологических процессов и составом твердой фазы почвы. Из минеральных соединений в растворе этих почв наиболее распространенными являются гидрокарбонаты кальция и магния, в меньшей степени встречаются KHCO_3 и NaHCO_3 , сульфаты кальция, магния и натрия, нитраты и фосфаты этих же катионов.

В **засоленных** почвах концентрация почвенного раствора может достигать нескольких десятков граммов на 1 л, а содержание легкорастворимых солей превышать 0,25 %. Осмотическое давление их растворов превышает $10,13\text{--}15,20 \cdot 10^5$ Па, что исключает возможность возделывания на них большинства культурных растений без предварительного проведения специальных мелиоративных мероприятий. Из минеральных соединений в почвенном растворе засоленных почв преобладают: хлориды – NaCl, MgCl₂, CaCl₂, и KCl; сульфаты – Na₂SO₄, MgSO₄, K₂SO₄, CaSO₄; карбонаты – Na₂CO₃ и MgCO₃; гидрокарбонаты – NaHCO₃, Mg(HCO₃)₂ и Ca(HCO₃)₂.

Почвенный раствор находится в постоянном и тесном взаимодействии с твердой, газовой и живой фазами почвы, и как следствие, состав и концентрация его является результатом биологических, физико-химических и физических процессов, лежащих в основе этого взаимодействия. Темп и направление указанных процессов подвержены значительным изменениям, поэтому и состав почвенного раствора чрезвычайно динамичен. После выпадения дождя и таяния снега концентрация почвенного раствора понижается, а в сухое время повышается, вследствие чего некоторые растворенные вещества могут выпадать в осадок. Изменение состава почвенного раствора в значительной степени связано с тем, что часть растворенных веществ усваивается растениями и микроорганизмами, некоторое количество вымывается в глубокие горизонты, часть переходит в поглощенное состояние. Изменение водного режима ведет к трансформации концентрации и состава почвенного раствора и условий минерального питания растений, что, естественно, непосредственно отражается на их жизнедеятельности.

Важным свойством почвенного раствора является его реакция, которая напрямую зависит от солевого состава раствора, поглощательной способности и присутствия в почвах свободных кислот. По характеру реакции почвенного раствора почвы подразделяют на сильнокислые (pH < 4,0), кислые (pH 4,0–5,5), слабокислые (pH 5,5–6,5), нейтральные (pH 6,5–7,0), щелочные (pH 7,0–8,0), сильнощелочные (pH > 8,0). Сильнокислую и кислую реакцию имеют красноземы, подзолистые, дерново-подзолистые и торфяные почвы. Слабокислая и близкая к нейтральной реакции почвенного раствора характерны для черноземов и серых лесных почв, тогда как каштановые почвы, сероземы и солонцы имеют щелочную реакцию. Кислая реакция определяется наличием в растворе органических и минеральных кислот и кислых солей; щелочная – карбонатами и гидрокарбонатами натрия и магния.

В почвенном растворе практически никогда не содержится сильных кислот и сильных щелочей. Это объясняется тем, что почвенные растворы обладают способностью сопротивляться, противостоять изменению его реакции, т. е. буферностью. В почвенных растворах широко представлена буферная система из угольной кислоты и ее кальциевой соли – гидрокарбоната кальция: $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Эти два соединения присутствуют в почвенном растворе почв, обладающих слабокислой, нейтральной и слабощелочной реакцией. В почвах с сильнокислой реакцией определяющую роль играют органические кислоты и их соли с кальцием, а в некоторых случаях с аммонием и другими основаниями. Кроме того, известное буферное действие могут оказывать фосфаты, если они находятся в растворе в нескольких степенях замещения. Буферное действие фосфатов объясняется различной степенью диссоциации ортофосфорной кислоты H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Следует отметить, что буферность почвенного раствора, взятого отдельно, обычно очень незначительна по сравнению с буферностью почвы в целом.

Значение почвенного раствора в жизни почвы, растительности и микроорганизмов велико. Все процессы мобилизации питательных веществ в почве, в т. ч. и за счет вносимых удобрений, происходят через почвенный раствор. Вот почему состав и концентрацию почвенного раствора следует целенаправленно регулировать с помощью специальных агротехнических приемов. Концентрацию почвенного раствора уменьшают промыванием почвы пресными водами. Состав его изменяют внесением удобрений, а реакцию – известкованием или гипсованием почвы.

Формы воды и их соотношение в почве зависят от ее гранулометрического и минералогического состава, от структурности, определяющей размер и конфигурацию почвенной порозности, и, конечно, от степени ее влажности в данный момент. Вода в почве находится в сфере влияния трех видов сил: тяжести, молекулярного притяжения минеральных и органических частиц почвы и взаимного притяжения молекул самой воды. Различают следующие формы воды, отличающиеся между собой прочностью связи с твердой фазой, степенью подвижности и доступности растениям: 1) химически связанную; 2) твердую; 3) парообразную; 4) сорбированную; 5) капиллярную; 6) гравитационную.

Химически связанная вода. Характеризуется неподвижностью, высокой прочностью связей, неспособностью растворять, включает **конституционную** (гидратную) и **кристаллизационную** (кристаллогидратную) воду, входит в состав твердой фазы почвы. Конституционная вода – гидроксильная группа (ОН) находящихся в почве веществ: гидроксидов железа, алюминия, марганца, титана, коллоидно-дисперсных глинных минералов, органических и органо-минеральных соединений. Кристаллизационная вода – это целые молекулы воды, входящие в кристаллы: гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), бишофит ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), гидрофилит ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Химически связанная вода не входит в состав почвенного раствора и растениям не доступна. При ее потере в результате дегидратации или синерезисе, т. е. уплотнении кристаллической решетки происходит необратимая трансформация минеральных, органических и органо-минеральных соединений.

Твердая вода – имеющийся в почве лед. Встречается зимой во всех почвах, где наблюдаются отрицательные температуры. В местах с вечной мерзлотой и тундрах лед в почве остается даже летом. Твердая вода растениям непосредственно недоступна, но она служит источником жидкой и газообразной воды.

Парообразная вода содержится в почвенном воздухе в виде водяного пара. Пары воды поступают в почву из атмосферы, а также образуются в почве при испарении воды и льда. Почвенный воздух обычно насыщен парами воды, относительная влажность его близка к 100 %. С повышением температуры увеличивается давление водяного пара и он передвигается от теплых слоев почвы к более холодным. При конденсации пар превращается в жидкую воду. Во многих случаях этот переход парообразной воды в жидкую становится важнейшим источником снабжения растений водой. В зимнее время в метровом слое почвы засушливых районов накапливается до 10–14 мм конденсированной воды. По данным С.Ф. Неговелова, на Кубани в отдельные годы накопление в почвенных слоях конденсированной воды к началу весны может достигать $200 \text{ м}^3/\text{га}$.

Сорбированная вода удерживается на поверхности почвенных частиц сорбционными силами, т.е. молекулы воды притягиваются к твердым частицам почвы и прочно удерживаются ими. Эта форма воды представлена *гигроскопической* и *пленочной*. Гигроскопическая вода образуется в результате ад-

сорбции паров воды на поверхности твердых частиц почвы, непосредственно примыкая к ним в виде пленки из 2–3 ориентированных слоев молекул воды. Она удерживается очень прочно адсорбционными силами почвенных частиц и для растений недоступна. Содержание этой воды в почвах зависит от гранулометрического состава. В глинистых почвах количество гигроскопической воды достигает 5–6 %, а в песчаных и супесчаных ее содержание не превышает 1–2 % от массы почвы. Гигроскопическая вода может передвигаться в почве только после того, как перейдет в парообразное состояние. Пленочная вода тонким слоем облекает почвенные частицы поверх слоя гигроскопической воды. Она находится в менее прочно связанном состоянии с почвенными частицами по сравнению с гигроскопической водой и для растений частично доступна. Осмотическое давление внутриклеточного сока растений позволяет корневым волоскам всасывать пленочную воду. Тем не менее, подвижность этой воды крайне низкая. Она может передвигаться от почвенной частицы с большей пленкой к тем частицам, где пленка тоньше, и поэтому растения расходуют запас влаги быстрее, чем он восстанавливается. При снижении влажности почвы до уровня рыхлосвязанной воды у растений приостанавливаются синтетические процессы, и они начинают увядать.

Капиллярная вода находится в капиллярных порах в капельно-жидком виде и передвигается в них за счет капиллярных (менисковых) сил по различным направлениям. Капиллярные силы имеют наибольшее значение в порах диаметром 0,001–0,1 мм. Высота подъема воды тем выше, чем тоньше капилляр. Различают капиллярно-подпертую и капиллярно-подвешенную воду. Капиллярно-подвешенная – это вода, образующая капиллярные столбики, не смыкающиеся внизу с грунтовой водой или верховодкой. Такая вода появляется в почве при увлажнении ее сверху атмосферными и оросительными водами. Капиллярно-подпертая – это вода, которая образует капиллярные столбики за счет подъема грунтовых вод. Обе эти формы воды подвижны, особенно – капиллярно-подпертая. Капиллярная вода легкодоступна для растений и является продуктивной формой воды в почвах.

Гравитационная вода – свободная форма воды в почве, просачивающаяся в виде нисходящего тока под влиянием силы тяжести, и вода водоносного горизонта, удерживаемая водоупором. Она находится вне влияния сорбционных и капиллярных сил почвы. Для нее характерны жидкое состояние, высокая растворяющая способность и возможность переносить в растворенном состоянии соли, коллоидные растворы, тонкие суспензии. Присутствие значительных количеств свободной гравитационной воды в почве – явление неблагоприятное, свидетельствующее о временном или постоянном избыточном увлажнении, что способствует созданию в почвах анаэробной обстановки и развитию глеевого процесса. Гравитационная вода доступна для растений.

Таким образом, жидкую фазу почв можно определить как почвенный раствор, включающий почвенную воду, содержащую растворенные соли, органико-минеральные и органические соединения, растворенные газы и тончайшие коллоидные золи. Почвенный раствор включает пленочную и капиллярную воду. Объем его равен объему почвенной влаги за исключением воды на уровне максимальной гигроскопической влажности. Химически связанная и гигроскопическая формы воды не входят в состав почвенного раствора. Неправоммерно относить к почвенному раствору и гравитационно-просачивающуюся воду, проходящую почвенные горизонты по трещинам и ходам животных и корней.

Жидкая фаза почвы и питание растений. Водная фаза почвы представляет собой среду, из которой непосредственно происходит поглощение питательных веществ растениями. Но было бы большим упрощением утверждать, что состав почвенных растворов полностью определяет процесс корневого питания. Это неверно хотя бы потому, что в почвенных растворах находится лишь малая часть питательных веществ почвы.

К основным факторам, определяющим поглощение веществ растениями из почв, относятся: 1) фактор интенсивности; 2) фактор пополнения и 3) фактор ионного взаимодействия.

Фактор интенсивности – концентрация, или, точнее, активность ионов в водной фазе почвы. При этом именно активность в большей мере, чем концентрация, определяет уровень поглощения ионов корневой системой. Фактор интенсивности определяется химическим потенциалом иона (μ_i) согласно уравнению:

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln a_i$$

где: μ_i^0 – стандартный потенциал;
 T – температура (°K);
 a_i – активность иона;
 R – газовая постоянная.

Фактор пополнения отвечает за стабильность обеспечения растений тем или иным элементом питания во времени. Способность почвы поддерживать уровень активности иона в водной фазе в определенном интервале зависит от буферной емкости почвы, резерва питательных элементов в ее твердой фазе, а также от скорости перехода элемента из ближнего (ППК) и дальнего (валовое содержание) резервов в раствор. В немалой степени эта скорость регулируется самими растениями, выделяющими в водную фазу всевозможные соединения.

Универсальные уравнения для описания фактора пополнения отсутствуют. Тем не менее, для ряда карбонатных и кислых почв показано, что количество фосфора (M), диффундирующее от поверхности почвы к корням, подчиняется следующей зависимости:

$$M = \alpha c \sqrt{Db},$$

где: c – концентрация фосфора в почвенном растворе;
 b – буферная емкость;
 D – коэффициент диффузии в поровом пространстве почвы;
 α – коэффициент, отражающий тип почвы, ее влажность и все остальные факторы.

Если обозначить величину $\alpha\sqrt{D}$ за коэффициент β и ввести понятие количества питательного элемента в резерве $q=cb$, то получится следующее выражение: $M = \beta\sqrt{cq}$, отражающее тот факт, что диффузионное поглощение ионов прямо пропорционально интенсивности и буферной емкости.

Фактор ионного взаимодействия отражает эффект воздействия других ионов на поглощение данного. Именно этим взаимовлиянием ионов объясняется тот факт, что один и тот же уровень (активность) одного иона в водной фазе может быть либо недостаточным, либо избыточным для растения в зависимости от присутствия других веществ.

В общем случае этот фактор может быть описан следующим образом:

$$V_i = \frac{V_{\max} \alpha_i}{k_i + \alpha_i + \sum k_i / k_j \alpha_j},$$

где: V_i – скорость поглощения i -го иона с активностью α_j ;
 V_{\max} – его максимальная скорость поглощения, когда его активность не является лимитирующим фактором;
 α_j – активность других ионов;
 k_i и k_j – константы Михаэлиса.

Подобное соотношение хорошо описывает и случаи конкурирующего поглощения ионов.

Рассмотренные факторы показывают, что состав почвенных растворов является удовлетворительным индикатором условий питания растений, часто более информативным по сравнению с традиционным анализом почвенных вытяжек. В то же время для полной характеристики процесса питания растений необходим комплексный сопряженный подход к исследованию всех компонентов почвы, ее твердой, жидкой и газообразной частей.

6.2. Газовая фаза почвы

Почва, взятая без газов, не есть почва... Роль почвы в истории земной коры отнюдь не соответствует тонкому слою, какой она образует на ее поверхности. Но она вполне отвечает той огромной активной энергии, которая собрана в живом существе, и способна к переносу благодаря проникающим в почву газам. Говоря о значении биохимических процессов в почвах и о значении почвы в области биосферы, мы другими словами, скрыто, указываем на первенствующую роль газов в почвенных процессах.

В.И. Вернадский, 1913

Газовая фаза почвы – это воздух, заполняющий в почве поры, свободные от воды. Его количество в почве зависит от общей порозности и степени увлажнения. Эта зависимость, в свою очередь, обуславливается типом почвы, структурным состоянием и степенью ее окультуренности. При одной и той же влажности в структурных почвах, обладающих некапиллярной пористостью, воздуха больше, чем в бесструктурных. Дополнительное насыщение почвы водой влечет за собой вытеснение из нее воздуха.

Газовый (воздушный) режим почвы – совокупность всех взаимосвязанных явлений, обуславливающих содержание и состав воздуха в почве: поступление газов в почву и их передвижение по ее профилю, изменение содержания газов в почвенном воздухе в результате поглощения или выделения отдельных газов при биологических и биохимических процессах и обмена газами между почвой и атмосферой, а также между почвенным воздухом и твердой и жидкой фазами почвы. Воздушный режим наиболее благоприятен в структурных и рыхлых почвах. Почвенный воздух формируется: 1) путем заполнения поровых пространств воздухом из приземного слоя атмосферы; 2) в результате диффузионных процессов как следствие различия парциальных давлений отдельных компонентов почвенной газовой фазы и атмосферы; 3) как продукт почвенных биохимических и химических процессов, включая дыхание почвенных организмов. Содержание воздуха в почве рассчитывается по разности между общей порозностью и объемом пор, занятых водой, обычно выражается в процентах

от общего объема почвы. Следует различать воздухоемкость и запас воздуха в почве. Воздухоемкость почвы — объем заполненных воздухом некапиллярных пор при влажности почвы, соответствующей наименьшей влагоемкости почвы.

Почвенный воздух находится в четырех физических состояниях: 1) свободном; 2) защемленном; 3) адсорбированном; 4) растворенном.

Свободный почвенный воздух — это воздух, который свободно перемещается по системе почвенных пространств и обменивается с атмосферой. Именно за счет него происходит аэрация почвы. После стекания гравитационной воды он обычно занимает крупные некапиллярные поры, но может также находиться и в капиллярах, если в них отсутствует влага. Его объем в воздушно-сухой почве соответствует ее порозности. При увлажнении почвы количество воздуха уменьшается пропорционально насыщению влагой.

Защемленный почвенный воздух — воздух, находящийся в порах, со всех сторон изолированных водными пробками. Его объем зависит от гранулометрического состава почвы и может быть найден по разности между общей порозностью почвы и объемом пор, занятых водой при влажности, соответствующей ее полной влагоемкости. Чем более тонкодисперсна почвенная масса и компактней ее упаковка, тем большее количество защемленного воздуха она может иметь. В среднем объем защемленного воздуха колеблется в пределах 5–8 %, достигая в суглинистых почвах более 12 % от общего объема почвы или более четвертой части всего ее порового пространства. Защемленный воздух неподвижен, практически не участвует в газообмене между почвой и атмосферой, существенно препятствует фильтрации воды в почве. При колебании температуры почвы, ее влажности и атмосферного давления изменяется давление защемленного воздуха на стенки пор, что может способствовать разрушению почвенной структуры.

Адсорбированный почвенный воздух — это воздух, удерживаемый поверхностью твердых частиц почвы. Газы адсорбируются в зависимости от свойства молекул в такой последовательности: азот < кислород < диоксид углерода < аммиак. Адсорбция газов пропорциональна их давлению и обратно пропорциональна температуре, кроме того, она зависит и от количества сорбента. Чем более дисперсна почва, тем больше содержит она адсорбированных газов при данной температуре. Из всех составных частей почвы наибольшей поглощательной способностью газов обладают гумус, перегной и полуторные оксиды, меньше эти свойства проявляются в гипсе, извести и кварце. Адсорбция газов почвой наблюдается при влажности меньше максимальной гигроскопической и наибольшего значения достигает с сухих почвах. При влажности почвы выше максимальной гигроскопичности вода почти полностью вытесняет адсорбированные газы, вовлекая тем самым их в газообмен с атмосферой.

Растворенный почвенный воздух — газы, растворенные в почвенной воде. Эта форма почвенного воздуха ограничено участвует в аэрации почвы, так как их диффузия в водной среде происходит очень медленно. Тем не менее, растворенный почвенный воздух играет важную роль как в обеспечении многих физико-химических процессов, происходящих в самой почве, так и в обеспечении физиологических потребностей растений, микроорганизмов и почвенных животных.

Растворенный почвенный воздух имеет компоненты, которые характеризуются различной растворимостью в воде. Наибольшей растворимостью обладают аммиак, сероводород, диоксид углерода. Растворимость газов в воде возрастает с увеличением их парциального давления и с понижением температуры. Кроме

того, в почвенной воде растворимость газов уменьшается с увеличением ее минерализации. Газы в почвенном растворе существенно меняют свойства раствора. Так, с увеличением содержания диоксида углерода в почвенном растворе увеличивается растворимость карбонатов, гипса, фосфатов и других солей. Растворенный кислород, несмотря на относительно невысокую растворимость в воде, способен поддерживать окислительные свойства почвенного раствора. При этом его количество в 1 л почвенного раствора может колебаться от 0 до 14 мг. Чем выше биологическая активность почвы, тем больше расход растворенного кислорода и меньше насыщенность почвенного раствора этим газом. Наибольшая насыщенность почвенного раствора кислородом наблюдается весной, когда из-за низкой температуры биологическая активность почвы низкая, а почва переувлажнена водой, обогащенной кислородом.

По своему составу почвенный воздух отличается от атмосферного меньшим содержанием кислорода и большим – диоксида углерода. В атмосферном воздухе содержание азота составляет 78 %; кислорода – 21; диоксида углерода – 0,03; а в почвенном воздухе – азота 78–80; кислорода 5–20; диоксида углерода 0,1–15 %. Кроме названных газов в почвенном воздухе находятся в незначительном количестве метан, водород, сероводород, закись азота и фосфористый водород, образующиеся в результате анаэробного разложения органического вещества. Из всех газов наиболее легким является водород, он в 14,5 раза легче воздуха. Молекулы его движутся быстрее всех остальных газов. Он имеет наибольший коэффициент диффузии, вследствие этого концентрация его в поверхностных слоях почвы примерно такая же, как и в атмосфере. Кроме газов и паров воды, в почвенном воздухе могут содержаться летучие или газообразные органические вещества (углеводороды, спирты, сложные эфиры, альдегиды и др.), образующиеся в результате жизнедеятельности почвенных организмов. Многие из этих соединений поглощаются и ассимилируются почвенными микроорганизмами и корнями растений.

Состав почвенного воздуха непрерывно меняется. Основными причинами этого изменения являются деятельность микроорганизмов, дыхание корней растений и газообмен с атмосферой. При разложении органических остатков микроорганизмами и дыхании корней почвенный воздух обогащается диоксидом углерода и водородом, газообмен же приближает состав почвенного воздуха к атмосферному.

Содержание азота в почвенном воздухе не на много отличается от атмосферного, хотя изменения все же возможны, как в сторону уменьшения, так и увеличения. Уменьшение количества азота происходит в результате связывания его свободноживущими азотфиксирующими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями, а увеличение – вследствие распада белков и денитрификации азотсодержащих веществ под действием денитрифицирующих микроорганизмов.

Различная концентрация кислорода и диоксида углерода в почвенном воздухе объясняется двумя противоположно направленными процессами: интенсивностью потребления кислорода и продуцирования диоксида углерода, с одной стороны, и способностью газообмена между почвенным и атмосферным – с другой. Содержание кислорода и диоксида углерода в почвенном воздухе в значительной степени зависит от погодных условий, типа почвы, ее биологической активности, физических и химических свойств. Оно также подвержено сезонным изменениям. На пашне состав почвенного воздуха зависит от возделываемой культуры и применяемой агротехники.

Кислород поступает в состав почвенного воздуха из атмосферы в результате диффузии. Часть кислорода попадает в почву с водой или по растительным тканям. Он участвует в дыхании растений, почвенной фауны и микроорганизмов. При отсутствии кислорода жизнедеятельность почвенной биоты прекращается. При содержании его в почве менее 2,5 % начинают преобладать анаэробные процессы, которые сопровождаются накоплением закисных соединений, угнетающих развитие растений и почвенной биоты. При этом в почве также могут накапливаться восстановленные формы соединений азота и серы (NH_3 , H_2S). Оптимальные условия для развития растений создаются при содержании кислорода в почвенном воздухе около 20 %.

Основной источник накопления диоксида углерода в почвенном воздухе – дыхание растений и почвенной фауны. Возможно его пополнение за счет десорбции из твердой и жидкой фаз почвы, превращения гидрокарбонатов в карбонаты во время испарения почвенной влаги, окисления органического вещества и воздействия кислот на карбонаты почвы. Часть диоксида углерода может поступать в почву вместе с грунтовыми водами.

Биологическое значение диоксида углерода многосторонне. Он обеспечивает процесс фотосинтеза у растений. Велика и почвенно-химическая и геохимическая роль диоксида углерода. Почвенный раствор, насыщенный диоксидом углерода, растворяет многие труднорастворимые минералы – кальцит, доломит, магнезит, сидерит. Это вызывает миграцию карбонатов в почвенном профиле: вынос их из верхних горизонтов почвы или подтягивание из нижних горизонтов к верхним. Выщелачивание карбонатов под действием увеличивающейся концентрации диоксида углерода в почвенном воздухе и в почвенном растворе называется процессом декарбонизации, который обусловлен сдвигом равновесия ниже приведенной реакции влево:



Обратная картина этого явления – выпадение CaCO_3 в осадок и формирование в почвах горизонтов скопления карбонатных новообразований в виде белоглазки, журавчиков, карбонатной плесени. В то же время избыток диоксида углерода в составе почвенного воздуха замедляет прорастание семян, развитие растений, снижает интенсивность поглощения растениями воды. Оптимальные условия для роста и развития растений создаются, когда его содержание в почвенном воздухе находится в пределах 0,03–3,0 %.

Между почвенным и атмосферным воздухом происходит непрерывный обмен, в результате состав воздуха почвы выравнивается с атмосферным. Это явление называется газообменом в почве. Количественные различия в составе почвенного и атмосферного воздуха определяют градиент концентрации отдельных их компонентов. Пока этот градиент существует, через свободные от воды почвенные поры происходит диффузионное передвижение газов в сторону меньшей их концентрации: кислород атмосферы поступает в почву, а из почвы в атмосферу выделяется диоксид углерода. Чем быстрее и полнее обменивается почвенный воздух с атмосферным, тем благоприятнее в почве создаются условия для жизни растений и биохимических почвенных процессов.

Газообмен между почвенным и атмосферным воздухом, в результате которого выделяются образующиеся в почве газы и поступают в нее потребляемые газы, а также поступление воздуха в почву или его выделение в результате воздухообмена, называется аэрацией почвы. Аэрацию почвы следует рассматривать как сумму двух процессов – диффузии газов и газообмена.

Процесс выделения углекислого газа с поверхности почвы в атмосферу назван Г. Люндегордом *дыханием почвы*. Дыхание почвы характеризует интенсивность газообмена между почвой и атмосферой и является показателем биологической активности почвы.

Дыхание почвы и газообмен между почвой и атмосферой не следует смешивать с воздухообменом между почвой и атмосферой, который происходит в результате изменения барометрического давления, температуры и влажности почвы и протекает периодически в каком-либо одном направлении. При воздухообмене не происходит изменений концентрации отдельных компонентов атмосферного или почвенного воздуха, т. е. происходит выделение или поступление в почву не отдельных газов (CO_2 , O_2 , N_2), а всей смеси газов с установившимся для данного момента их парциальным давлением. Воздухообмен почвы с атмосферой происходит главным образом через некапиллярные поры.

Основными факторами, влияющими на газообмен между почвой и атмосферой (аэрацию почвы), являются: диффузия газов, физико-химические свойства почв и метеорологические условия, обуславливающие объемные движения воздуха. К метеорологическим факторам, влияющим на аэрацию почвы, относятся: колебания атмосферного давления; изменения температуры почвы; изменение влажности почвы; влияние ветра; изменение уровня грунтовых вод и верховодки (Макаров Б.Н., 1988).

Диффузия – тепловое движение молекул под влиянием градиентов концентрации или температуры. Величина диффузии зависит от природы диффундирующих газов и свойств почвы (содержания гумуса, порозности, влажности, температуры). В связи с тем, что в почвенном воздухе концентрация кислорода меньше, а диоксида углерода больше, чем в атмосфере, под влиянием диффузии происходит поступление кислорода в почву и выделение диоксида углерода в атмосферу. Изменение температуры и барометрического давления также обуславливают газообмен, так как при этом происходит сжатие или расширение почвенного воздуха. Увеличение количества влаги в почве при выпадении осадков или орошении вызывает сжатие почвенного воздуха, его выталкивание на поверхность и последующее засасывание атмосферного воздуха. Газообмен под влиянием ветра проявляется, как правило, на хорошо оструктуренных, лишенных растительности почвах.

Для характеристики аэрации почвы – газообмена между почвой и атмосферой – важно знать величину диффузии газов в почве, главным образом CO_2 и O_2 . Масса вещества, переносимая при диффузии, определяется по первому закону Фика:

$$dm = DS \frac{dc}{dx} \cdot dt,$$

где: dm – масса вещества, диффундирующая за время dt через поверхность S и слой x ;
 D – коэффициент диффузии, равный объему газа в см^3 , диффундирующего за 1 с через 1 см^2 при слое 1 см и градиенте концентрации, равном 1 ($\text{см}^3 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$).

Взаимодействие почвенного воздуха с жидкой, твердой и живой фазами почвы происходит непрерывно. Почвы в значительных количествах и наиболее интенсивно поглощают из воздуха водяные пары, аммиак, в меньшей степени – кислород, диоксид углерода и еще меньше адсорбируют азот.

С аэрацией почвы тесно связаны ее окислительные и восстановительные процессы. Они измеряются окислительно-восстановительным потенциалом E_h или ОВП. Величина E_h характеризует упругость электронов в системе

почва–раствор, способных принимать участие в процессах окисления и восстановления, которые зависят от аэрации почвы и прежде всего, от содержания в почвенном воздухе и в почвенном растворе кислорода. При значениях $Eh = 600\text{--}700$ мВ в почве создаются максимальные аэробные условия; при $Eh = 400\text{--}600$ мВ – почвы хорошо аэрируемые; $Eh = 300\text{--}400$ мВ – аэрация затруднена. Может иметь место денитрификация. Нижняя граница зоны окисления соответствует $Eh = 250\text{--}300$ мВ. Выше этой границы идут процессы окисления, ниже – восстановления. При значениях $Eh < 200$ мВ в почве активно развиваются процессы оглеения, переход окисных форм в закисные.

Агрохимические приемы улучшения газового режима почвы. Различные растения неодинаково относятся к условиям газового режима почвы. Такие культуры, как кукуруза, сахарная свекла, картофель, бобы, горох и многие корнеплоды, особенно нуждаются в хорошей аэрации почвы, тогда как рис и некоторые травы нормально развиваются на затопленных участках.

Основными агротехническими приемами улучшения газового режима являются обработка почвы, создание прочной комковатой структуры, углубление пахотного слоя. Внесение органических и минеральных удобрений оказывает большое влияние на газовый режим, особенно на интенсивность выделения CO_2 из почвы. При внесении удобрений существенно повышается интенсивность выделения диоксида углерода из почвы. Повышение содержания CO_2 в почвенном воздухе и интенсивности дыхания почвы при внесении органических и минеральных удобрений связано в основном с усилением микробиологической деятельности и лучшим развитием растений. Важным средством улучшения газового режима почвы являются мелиоративные мероприятия.

6.3. Живая фаза почвы

Многообразные функции почвенных организмов проявляются в превращении веществ в почве, в их влиянии на питание растений, перемещение веществ и на структуру почвы.

Э. Рюбензам, К. Рауэ, 1969

Живая фаза почвы – это населяющие ее организмы, непосредственно участвующие в почвообразовательном процессе. К ним относятся как микро-, так и макроорганизмы. Макроорганизмы в свою очередь делятся на макрофауну и макрофлору. Наиболее распространенные представители макрофауны – грызуны, насекомые, насекомоядные, двупарноногие, равноногие, клещи, брюхоногие моллюски, многоножки, пауки и кольчатые черви. Макрофлора почвы в основном состоит из корней растений.

Микроорганизмы включают микрофауну и микрофлору. Микрофауна делится на три группы: нематоды, простейшие и коловратки. Основными представителями почвенной микрофлоры являются бактерии, актиномицеты, водоросли и грибы.

Главными экологическими факторами, определяющими природу и количество заселяющих почву живых организмов, являются наличие органических остатков, температура и влажность почвы. Основные характеристики живой фазы: общая биологическая*, микробиологическая и ферментативная** актив-

* Биологическая активность почвы – интенсивность биологических процессов, протекающих в почве.

** Ферментативная активность почвы – способность почвы трансформировать химические соединения под влиянием ферментов.

ность почвы, общая численность микро- и макроорганизмов в почве. С их деятельностью связаны три источника почвенного плодородия: 1) снабжение растений элементами зольного питания за счет разрушения минеральной части почвы; 2) вовлечение в биологический круговорот солнечной энергии, закрепляемой растениями в химических связях, путем ее освобождения и преобразования при разложении и синтезе новых органических соединений, что в конечном итоге приводит к формированию гумуса – основного энергетического фонда почвы; 3) связывание молекулярного азота и перевод его в доступные для растений соединения. Кроме того, микроорганизмы, обладая большим разнообразным и лабильным ферментативным аппаратом, играют исключительно важную роль в формировании фитосанитарного состояния почвы.

6.3.1. Микрофлора почвы

Почва заселена огромным количеством микроорганизмов. В различных почвенно-климатических условиях их численность несколько отличается (табл. 30; Федоров М.В., 1963). В зонах с низкими температурами количество микроорганизмов незначительно, существенно больше их в умеренных, субтропических и тропических зонах. В почвах, богатых органическим веществом, микроорганизмов больше, чем в бедных гумусом. Большая часть микроорганизмов сосредотачивается в верхнем слое почвы.

Таблица 30 – Количество микроорганизмов в различных типах почв

Почвы	Количество микроорганизмов, млн. шт.	
	на 1 г почвы	на 1 мг N почвы
Дерново-подзолистые	1000–2000	250
Черноземы	2500–3000	750
Сероземы	1800–3000	2400

В пахотном слое дерново-подзолистых почв масса микроорганизмов составляет 3,5 т/га, черноземов – 5,2 и сероземов – 5 т/га. Если принять во внимание, что роль микроорганизмов в почве определяется не столько их массой, сколько поверхностью их соприкосновения с почвенным раствором, выражающейся обычно сотнями тысяч квадратных метров на каждый гектар, то масштаб их воздействия на почву исключительно велик.

Микрофлора почвы представлена бактериями, актиномицетами, грибами, водорослями, вирусами и бактериофагами (рис. 53; Минеев В.Г., Ремпе Е.Х., 1990).

Бактерии – одноклеточные организмы с многочисленными и разнообразными морфологическими, анатомическими, физико-химическими и биохимическими свойствами. Эта группа является наиболее распространенной и составляет 70 % от всех почвенных микроорганизмов. В 1 г плодородной почвы численность бактерий достигает нескольких десятков миллионов, а общая их биомасса превышает 0,5 т/га. Во всем мире не найдется почв, лишенных бактерий. Они присутствуют в почве даже на глубине около 5 м; но наибольшее их количество сосредоточено в верхнем 20 см слое. Бактерии чрезвычайно малы – от 1 до 10 мкм в длину и от 0,2 до 1 мкм в ширину. Масса бактерии среднего размера составляет $4 \cdot 10^{-9}$ мг.

Несмотря на свои маленькие размеры, бактерии играют важную роль в природе и обладают большой адаптивностью к внешним условиям и конкурен-

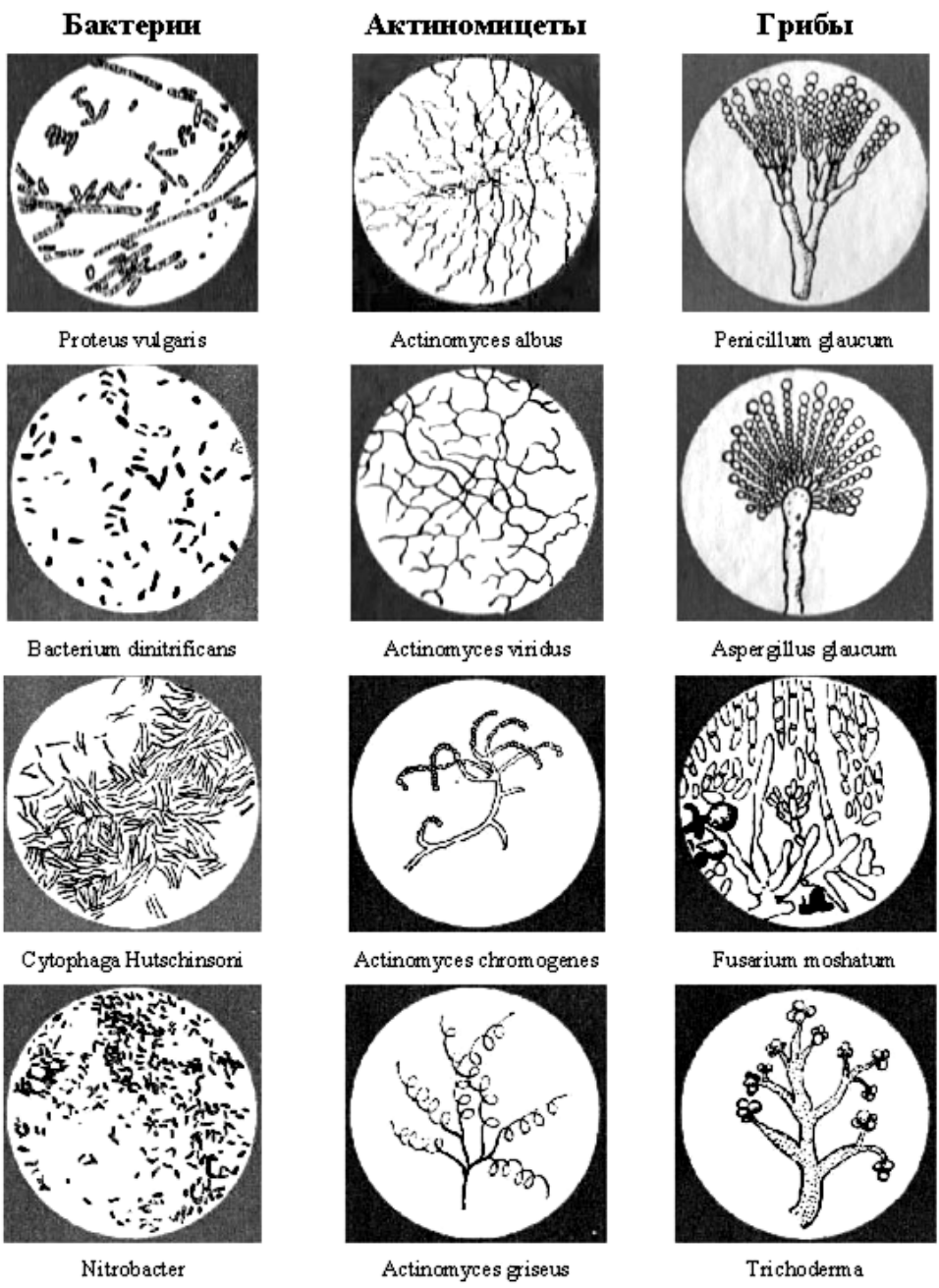


Рис. 53. Представители основных групп почвенной микрофлоры (увеличение в 1000 раз)

рентоспособностью. Эти организмы способны существовать как при очень низких температурах, так и при температуре, близкой к точке кипения воды. Они обладают способностью очень быстро размножаться – численность некоторых из них за 20 мин может удваиваться. При необходимости бактерии резко снижают активность, образуют споры и в таком состоянии могут переносить продолжительное обезвоживание, действие высокого давления и вакуума, низких и высоких температур. Среди них встречаются автотрофы и гетеротрофы. Они являются активными участниками процессов аммонификации, нитрификации, фиксации азота, превращения серы, железа и ряда других элементов, способствуют повышению биологической активности почв, а вместе с тем и плодородия.

Актиномицеты – микроорганизмы, занимающие промежуточное положение между бактериями и плесневыми грибами. Их называют еще лучистыми грибами или плесневидными бактериями. По численности в почве эти микроорганизмы занимают после бактерий второе место; составляя примерно 25–30 % почвенной микрофлоры. Они присутствуют в нейтральных или щелочных, хорошо аэрируемых, не богатых влагой, но содержащих достаточное количество органического вещества почвах. Актиномицеты обладают богатым ферментативным аппаратом, позволяющим минерализовать труднорастворимые органические вещества. Они активно участвуют в процессах образования и минерализации гумуса. Кроме того, актиномицеты являются продуцентами антибиотиков, тем самым способны оказывать губительное воздействие на различных возбудителей болезней, и, таким образом, играют важную роль в поддержании биологического равновесия в почве.

Грибы – обширная и разнообразная группа растительных гетеротрофных организмов, лишенных хлорофилла. По численности они составляют 1–3 % от общего количества микрофлоры почвы. В 1 г поверхностного слоя почвы насчитывается до 1 млн. грибов, а их биомасса достигает 1,5 т/га. Гетеротрофный тип питания обуславливает их активное участие в разложении растительных и животных остатков, благодаря чему они играют важную роль в образовании органических кислот и гумусовых веществ в почве. Широкое распространение грибов в почве и значительная активность объясняются большой устойчивостью их к факторам внешней среды. Многие грибы способны развиваться в условиях высокой кислотности почвы, при которой ингибируется активная жизнедеятельность большинства бактерий. Грибы, как правило, аэробы, поэтому развиваются обычно на поверхности субстрата. Они устойчивы к высыханию, но для развития предпочитают влажную среду. Грибы способны размножаться вегетативно и половым путем.

Водоросли – обширная группа микроскопических хлорофиллсодержащих растений. В отличие от других групп микроорганизмов, скопления водорослей легко заметить невооруженным глазом при их обильном развитии на почве. Особенно интенсивно развиваются водоросли на поверхности почв до посева и после уборки урожая сельскохозяйственных культур. При этом наблюдается позеленение почвы, которое получило название "цветения". Чаще "цветение" почвы бывает весной и осенью при сочетании благоприятных условий влажности, температуры, освещенности и наличия элементов минерального питания. Народные приметы связывают "цветение" почвы с хорошим урожаем. В этот период на 1 см² поверхности почвы может развиваться до 40 млн. клеток, а их биомасса достигает 1,5 т/га. После отмирания эта биомасса включается в биологический круговорот, используется другими микроорганизмами и через них – высшими растениями.

Велика роль водорослей в почвообразовательном процессе. Они первыми заселяют вулканические пеплы и лаву, начиная, таким образом, процесс их превращения в почву. Пионерская роль водорослей, как первопоселенцев, проявляется и при их разрастании на чисто минеральных субстратах антропогенного происхождения – строительных выбросах, промышленных отвалах. Водоросли обнаруживаются во всех почвах, включая почвы тундр и пустынь. Их численность варьирует в одной и той же почве в зависимости от влажности, солевого режима и условий освещения от 5 тыс. до 1,5 млн. клеток в 1 г почвы, а биомасса достигает сотен килограммов на гектар. Годовая продукция водорослей в разных почвах колеблется в пределах 50–1500 кг/га. Водоросли повышают плодородие почвы, обогащая ее органическим веществом. Выделяемая ими слизь способствует оструктуриванию почвы. Водоросли обогащают почвенный раствор кислородом, выделяемым в процессе фотосинтеза, и тем самым создают благоприятные условия для развития аэробных микроорганизмов, играющих, в свою очередь, важную роль в процессе корневого питания растений. Наибольшее практическое значение имеют сине-зеленые водоросли, обладающие способностью связывать атмосферный азот и обогащать им почву.

Вирусы – группа ультрамикроскопических, облигатных внутриклеточных паразитов, способных размножаться только в клетках живых организмов. Они являются возбудителями заболеваний человека, животных, растений, насекомых, простейших и микроорганизмов. Вирусы обладают следующими характерными особенностями, отличающими их от других микроорганизмов: 1) не задерживаются бактериологическими фильтрами; 2) не имеют клеточного строения; 3) не способны к росту и бинарному делению; 4) не имеют собственных метаболических систем; 5) содержат нуклеиновые кислоты только одного типа ДНК или РНК; 6) для их воспроизводства нужна только нуклеиновая кислота; 7) используют рибосомы клетки-хозяина для образования собственных белков; 8) не размножаются на искусственных питательных средах и могут существовать только в организме восприимчивого хозяина. Вирусы не размножаются в почве, но могут долго сохраняться в ней. Размеры вирусов колеблются в пределах от 15–20 до 300–400 мкм.

Бактериофаги – вирусы бактерий и актиномицетов. Своей внешней формой они напоминают запятую или ракетку для пинг-понга. Масса бактериофага примерно в 1000 раз меньше массы бактерии. Фаги специфичны, они поражают только определенные виды клеток или группы близкородственных организмов.

Микрофлора почв рисовых полей. Затопление рисовых полей слоем воды вызывает изменение водного, воздушного и теплового режимов почвы. Процессы, происходящие в почве после затопления, условно можно разделить на две последовательные фазы. В первую, начинающуюся сразу после образования слоя воды, в порядке очередности происходит уменьшение количества O_2 и восстановление NO_3^- , Mn^{4+} и Fe^{3+} . Эта фаза длится от двух до трех суток и зависит от количества окисного железа в почве. Во вторую фазу происходит образование сульфидов, развиваются водородное и метановое брожение. В результате происходят количественные и качественные изменения микрофлоры, выражающиеся в смене аэробных и анаэробных групп. В первую фазу в почве преобладают аэробные и факультативно анаэробные микроорганизмы. Сразу после затопления рисового поля в поверхностном 5 см слое почвы происходит увеличение численности не только анаэробных, но

и аэробных микроорганизмов. В дальнейшем количество аэробов постепенно снижается. Но они полностью не исчезают из почвы в течение всего вегетационного периода риса.

Качественный состав бактерий, населяющих почву под рисом, разнообразен, но преобладают главным образом факультативные анаэробы – *Bac. megatherium*, *Bac. mycoides*, *Bac. subtilis*, *Bac. mesentericus*, *Bac. idosus*, *Bac. cereus*. Спорообразующие бактерии развиваются во второй период вегетации, а в первый – преимущественно неспорообразующие. Количество аммонифицирующих микроорганизмов в затопленной почве всегда относительно высокое, однако, больше их в первый период после затопления, когда в почве еще имеется достаточное количество органических веществ. В дальнейшем численность этих микроорганизмов снижается до определенного уровня, после которого она практически не изменяется. Из аммонифицирующих микроорганизмов на затопляемых почвах рисовых полей преобладают представители рода *Bacillus* – *Bac. megatherium*, *Bac. mycoides*, *Bac. zotaus*, *Bac. glutinosus*.

Нитрифицирующие бактерии, являясь аэробными микроорганизмами, в большом количестве встречаются в почве в первые несколько дней после затопления, когда в среде еще имеется достаточное количество кислорода. В последующий период численность их резко падает, однако нитрификаторы, как и другие микроорганизмы-аэробы, всегда присутствуют в затопленной почве под рисом, что объясняется большой аэрирующей способностью корней этой культуры.

Денитрифицирующие микроорганизмы являются постоянными спутниками рисовых полей. Сразу после затопления численность этой группы возрастает, особенно, если предварительно в почву вносились минеральные удобрения.

Грибы встречаются в почве во все фазы вегетации риса. Во второй половине вегетационного периода, когда редуционные процессы достигают своего максимума, наблюдается заметное снижение их численности. Из этой группы микроорганизмов на почвах рисовых полей присутствуют представители родов: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucos*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Phisopus*. В почвах Кубани, занятых посевами риса, кроме перечисленных, преобладают грибы родов *Cephalosporium* и *Cladosporium*. Из актиномицетов в почвах рисовых полей постоянно присутствуют *Act. albus sterilis*, *Act. sterilis ruber*, *Act. viridis*, *Act. globisporus griseus*, *Act. parvus*, *Act. intermedius*.

Группа целлюлозоразрушающих микроорганизмов на рисовых полях представлена как аэробными, так и анаэробными формами.

Развитие сульфатредуцирующих бактерий в затопляемых почвах находится в прямой зависимости от интенсивности протекающих в ней восстановительных процессов. Поскольку наиболее восстановленные условия в почве обычно создаются во вторую половину вегетационного периода, то и численность сульфатредуцирующих бактерий возрастает к этому же времени.

В затопленной почве имеет место и окисление соединений серы. В процессе окисления серы участвуют два вида микроорганизмов: анаэробный – *Thiobac. denitrificans* и аэробный – *Thiobac. thioparus*. Соединения марганца окисляются и восстанавливаются в затопляемой почве при участии актиномицетов.

Удобрения и микрофлора почвы. Внесение в почву органических и минеральных удобрений не только улучшает питание растений, но и изменяет условия существования почвенных микроорганизмов, которые для жизнедеятельности также нуждаются в минеральных элементах. Сложный характер ответных реакций экосистемы на применение удобрений представлен на рисунке 54 (Шеуджен А.Х., 2000).



Рис. 54. Пути воздействия удобрений на почвенную микрофлору

Совершенно очевидно, что удобрения могут оказывать на микроорганизмы не только прямое, но и опосредованное воздействие – через растения и животных.

При благоприятных климатических условиях численность микроорганизмов после удобрения почвы значительно возрастает (табл. 31; Федоров М.В., 1963).

Таблица 31 – Влияние навоза на количество микроорганизмов в почве, тыс. клеток/г почвы

Удобрения	Общее количество микроорганизмов	Бактерии	Актиномицеты	Грибы
Без удобрений	1180	470	700	10
Навоз, 30 т/га	2550	830	1700	20
Навоз + известь	1983	760	1200	23
Навоз + NPK	1101	366	700	35

Удобрение почвы навозом способствует повышению общего содержания в ней микроорганизмов примерно в два раза. При этом увеличивается не только число бактерий, но также актиномицетов и грибов. Положительное влияние на микрофлору почвы оказывают и минеральные удобрения. Однако их действие зависит от вида, дозы, срока и способа внесения. При внесении аммонийных форм азотных удобрений, преимущественно возрастает численность бактерий. Удобрение почвы карбамидом создает лучшие условия для развития как бактерий, так и актиномицетов. Нитратные формы удобрений в большей степени стимулируют развитие грибов и бактерий, использующих минеральный азот.

Существенное влияние на почвенную микрофлору оказывают фосфорные удобрения, хотя и в меньшей степени, чем азотные. Эти удобрения повышают как общую, так и численность отдельных групп микроорганизмов. В наибольшей степени фосфорные удобрения увеличивают численность аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, минерализующих органическое вещество почвы.

6.3.2. Биологическая активность почвы

Биологическая активность почвы – это совокупность происходящих в почве биохимических реакций, которые приводят к возобновлению запаса использованных или разложившихся составных веществ, благодаря чему она обладает своеобразным гомеостазом. Биологическая активность почвы зависит от численности и видового состава обитающих в ней живых микроорганизмов, типа почвы, времени года, климата и культуры земледелия. Поэтому, говоря о биологической активности почвы, нужно учитывать всю совокупность условий и факторов, в которых данная почва сформировалась.

Показателями биологической активности служат: выделение углекислоты, то есть дыхание почвы; способность почвы к аммонификации и накоплению нитратов; скорость разложения клетчатки; активность ферментов азотного и фосфорного обмена, а также ферментов, катализирующих окислительные процессы; абсолютное количество микроорганизмов, особенно азотобактера, эпифитных бактерий и неспорных почвенных бактерий. Показатели биологической активности почвы необходимы для ее характеристики как биологической системы и оценки степени изменения под влиянием антропогенного воздействия, в особенности от повреждения токсикантами и техногенными перегрузками.

Ни один из показателей биологической активности в отдельности не отражает сложности биологических и биохимических изменений, происходящих в почве. Для сравнительной оценки биологической активности почвы по совокупности предложена шкала показателей (табл. 32; Кирюшин В.И., 1996).

Таблица 32 – Шкала сравнительной оценки биологической активности почвы

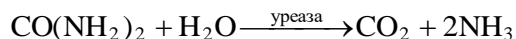
Показатель	Активность				
	очень слабая	слабая	средняя	высокая	очень высокая
Выделение CO ₂ , CO ₂ /10 г сут	<5	5–10	10–15	15–25	>25
Каталаза, O ₂ , см ³ /г/мин	<1	1–3	3–10	10–30	>30
Дегидрогеназа по восстановлению ТТХ*, мкл H ₂ г/сут	<3	3–7	7–15	15–22	>22
Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /10 г/ч	<5	0,5–1,5	1,5–5,0	5–15	>15
Протеаза, мг альбум/10 г/ч	<0,5	0,5–1	1–2	2–3	>3
Инвертаза, мг глюкозы/г/сут	<5	5–15	15–20	50–150	>150

Примечание. ТТХ – 2,3,5–трифенилтетразолий хлористый.

Наибольшее влияние на биологическую активность почвы оказывают органические удобрения и особенно навоз. С навозом в почву поступает большое количество питательных веществ для почвенной микрофлоры и масса микроорганизмов, для которых, однако, в почве нет условий для развития. Например, *Escherichia coli*, численность которой в 1 г навоза достигает 10000 клеток, в почве через короткое время обнаруживается в количестве до 100 клеток на 1 г. Только часть бактерий навоза сохраняется в почве и включается в ее метаболизм. Это микроорганизмы, разлагающие целлюлозу и пектин, а также аммонификаторы. Такое же положительное влияние на биологическую активность почвы оказывают зеленые удобрения и компосты, поскольку с ними микроорганизмы получают усвояемые соединения углерода и азота.

Действие минеральных удобрений на биологическую активность почвы зависит от вида, формы, срока, способа и нормы их применения. Здесь уместно

напомнить, что микроорганизмы не только используют внесенные в почву удобрения, как источник того или иного элемента питания, но и активно участвуют в их переводе в формы, доступные для растений. Например, мочевины в почве подвергается гидролизу до аммиака под влиянием уреазы – фермента, выделяемого микрофлорой. Сама по себе мочевина практически не поглощается растениями, но ионы аммония – превосходный источник азота для них. Ферментативный гидролиз мочевины осуществляется по следующей схеме:



Аммиак взаимодействует в почве с минеральными кислотами, образуя соли, диссоциирующие в водной среде на ионы.

Некоторые удобрения губительно действуют на почвенные микроорганизмы. Примером может служить цианамид кальция, который после внесения в почву стерилизует ее. Однако уже через короткое время это соединение под действием ряда бактерий и грибов разлагается и превращается в водорастворимый нетоксичный карбонат аммония, используемый микроорганизмами и растениями как источник азота. Повышают биологическую активность почвы калийные, кальциевые, магниевые, серные и железные удобрения. Таково же действие и микроэлементов. В общем можно сказать, что применяемые в сельском хозяйстве минеральные и органические удобрения повышают биологическую активность почвы, т. е. способствуют увеличению численности и группового состава микроорганизмов, усилению дыхания почвы и ее ферментативной активности. Однако применение высоких норм минеральных удобрений вызывает нарушение естественного круговорота основных органогенных элементов в природе, что отрицательно сказывается на жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Депрессивное влияние высоких норм минеральных удобрений на развитие активной микрофлоры связано с повышением концентрации почвенного раствора и наличием в нем больших количеств подвижных форм азота, особенно N-NO_3 , изменением pH почвы, а также накоплением нитратов, обладающих ингибирующими свойствами по отношению к растениям и микроорганизмам. В почвах с повышенным количеством нитратного азота наблюдается упрощение видового состава грибов рода *Penicillium*, увеличивается содержание стерильного мицелия, а у отдельных видов отмечается изменение некоторых морфологических признаков.

6.4. Твердая фаза почвы

Основные запасы элементов почвы находятся в твердой ее части. Водная фаза содержит лишь небольшую часть даже от обменных форм ионов, особенно в случае почв с развитым почвенным поглощающим комплексом.

В.В. Снакин, 1989

Твердая фаза почвы – это ее основа, матрица, формирующаяся из материнской породы, наследующая состав и свойство данной породы. Твердая фаза – органо-минеральная система, образующая твердый каркас почвы, наиболее устойчивая по объему, составу и во времени. Она состоит на 90–99 % из минеральной части и 1–10 % органической. В минеральной части почвы содержится все зольные элементы. Азот, углерод, кислород, фосфор и сера находятся в минеральной и органической частях почвы.

Твердая фаза почвы характеризуется гранулометрическим, минералогическим и химическим составом, сложением, структурой и порозностью.

6.4.1. Минеральная часть почвы

Выветривание горных пород и образование почвенных минералов. Горные породы, после их выхода на поверхность Земли, начинают разрушаться под воздействием различных факторов. Они изменяются химически, приобретают новые свойства, превращаются в рыхлые продукты. *Процесс разрушения массивных горных пород и превращение их в рыхлые продукты называют выветриванием. Выветривание всегда в той или иной мере предшествует почвообразовательному процессу.*

В связи с разнообразием факторов выветривания горных пород различают три его формы: *физическое, химическое и биологическое*. Но такое деление условно. В природе все эти формы выветривания переплетаются в единый и многогранный процесс размельчения и преобразования горных пород и минералов.

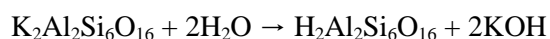
Основными факторами физического выветривания являются температура, механические силы воды, ветра, движения ледников. Они способствуют превращению горных пород в более мелкие обломки, щебень, песок и пыль, размельчают их механически, не изменяя петрографического и химического состава. В таких случаях по обломкам породы легко определить, из какого материала образовался данный рухляк. Под влиянием физических факторов выветривания массивная кристаллическая горная порода становится рыхлой, проницаемой для воды и воздуха, но еще не обладает достаточной влагоемкостью. Вместе с тем, по мере дробления горных пород увеличивается поверхность соприкосновения обломков с элементами атмосферы и биосферы, что способствует более энергичному воздействию на них химических и биологических факторов выветривания.

Под химическим выветриванием понимают совокупность таких явлений, в результате которых минералы, слагающие те или иные горные породы, подвергаются химическому распаду и изменяют химический состав и строение, причем в результате этих процессов возникают новые соединения – минералы.

Факторами химического выветривания являются атмосферная вода, углекислый газ и кислород.

Вода – энергичный растворитель горных пород и минералов. Реагентоспособность воды возрастает с повышением температуры и насыщением ее углекислым газом. Последний придает воде кислую реакцию, что увеличивает ее разрушающее действие на минералы. Под влиянием воды с растворенными в ней углекислым газом и кислородом в горной породе происходит ряд существенных изменений, в результате которых образуется рыхлая тонкая масса, отличающаяся от исходной породы.

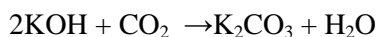
Основная реакция воды с минералами горных пород – *гидролиз* приводит к замене катионов щелочных и щелочноземельных металлов кристаллической решетки на ионы водорода диссоциированных молекул воды, т.е. происходит обменное разложение. Эту реакцию можно схематически рассмотреть на примере ортоклаза:



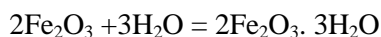
Образовавшееся основание (KOH) обуславливает щелочную реакцию раствора, при которой происходит дальнейшее разрушение кристаллической решетки ортоклаза с отщеплением части кремнезема и образованием каолинита:



КОН при наличии CO_2 переходит в форму карбонатов:

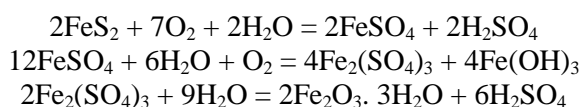


Другим процессом, связанным с водой и играющим важную роль в химическом выветривании горных пород, является *гидратация*. Это химический процесс присоединения частиц воды к частицам минералов с образованием соединений с иными свойствами, нежели исходные. Так, при гидратации гематита (Fe_2O_3) образуется лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$):



Гидратация наблюдается также в силикатах и алюмосиликатах, что приводит к их разрыхлению и в дальнейшем обеспечивает более тесное взаимодействие с водой, воздухом и другими факторами выветривания. Впоследствии из вторичных алюмосиликатов в результате химических реакций образуются каолинит, галлуазит, монтмориллонит, нонтронит, серицит. Эти минералы имеют форму мелких кристаллов и обладают рядом основных свойств, присущих коллоидам – обменной поглотительной способностью, большой поверхностной энергией и т.п. Благодаря коллоидальным свойствам эти вторичные минералы имеют большое агрономическое значение.

В зоне выветривания также широко распространена реакция *окисления*. Этому процессу подвергаются многочисленные минералы, содержащие закисное железо или другие способные к окислению элементы. В качестве примера окислительных реакций при выветривании рассмотрим взаимодействие сульфидов с кислородом в водной среде. Следует отметить, что процесс окисления металлов может происходить только при наличии влаги:



При окислении пирита, наряду с сульфатами и гидратами оксидов железа, образуется серная кислота, участвующая в создании новых минералов.

Присоединение к входящим в состав кристаллической решетки ионам закисного железа кислорода и воды оказывает расклинивающее действие на решетку и способствует ее дальнейшему разрушению.

Таким образом, химическое выветривание заключается в разрушении кристаллической решетки минералов и образовании соединений с иным составом и свойствами, главными причинами которого является гидратация, гидролиз и окисление.

Биологическое выветривание – это механическое разрушение и химическое изменение горных пород и минералов под действием организмов и продуктов их жизнедеятельности. Биологические факторы выветривания действуют на горные породы одновременно с физическими и химическими. При биологическом выветривании организмы извлекают из пород минеральные вещества, необходимые для построения их тела, и аккумулируют их в поверхностных слоях. Тем самым создаются предпосылки для формирования почвы. С поселением организмов на горной породе возрастает интенсивность ее выветривания. Живые организмы в процессе дыхания выделяют углекислоту и, создавая локальное повышение ее концентрации, усиливают ее действие. Некоторые организмы способны выделять различные органические кислоты и другие органические соединения, воздействующие на минералы. Другие в процессе своей жизнедеятельно-

сти образуют минеральные кислоты, например: нитрификаторы – азотную кислоту, тионовые бактерии – серную. Эти кислоты растворяют многие минеральные соединения и усиливают процесс выветривания.

Группа силикатных бактерий, выделяющих CO_2 и органические кислоты, разрушает полевые шпаты и фосфориты. При этом высвобождаются в доступной форме калий и фосфорная кислота. Отдельные виды железобактерий окисляют и разрушают соединения железа.

В числе биологических факторов выветривания заметную роль играют водоросли. Так, установлено, что диатомовые водоросли, извлекая из горных пород кремниевую кислоту, способствуют их разрушению.

Энергично действуют как фактор выветривания многочисленные мхи и лишайники. Они воздействуют на горные породы как химически, благодаря выделению в процессе жизнедеятельности CO_2 и органических кислот, так и механически, разрыхляя их проникающими по плоскостям спайности зерен первичных минералов ризоидами и гифами. Высшие растения, животные также обеспечивают биологическое выветривание благодаря разрыхлению пород и воздействию на них продуктов жизнедеятельности этих организмов.

Бактерии, водоросли, лишайники, грибы не только способствуют выветриванию горных пород биологическим путем, но и образуют на их поверхности первые следы органического вещества. Под воздействием биологических факторов в процессе выветривания в рыхлой породе в очень небольших количествах происходит концентрация элементов питания растений, в том числе азота.

Характер разрушения при выветривании зависит от условий среды, в которой оно протекает, от минералогического состава пород. Разные породы и минералы характеризуются неодинаковой устойчивостью. Наиболее устойчивы к выветриванию метаморфические породы, например, кварциты, а в наибольшей степени ему подвержены осадочные. Из минералов самым устойчивым к выветриванию является кварц, что определяет его высокое содержание в коре выветривания. Далее по этому показателю следуют полевые шпаты, а затем минералы, в состав которых входят закисные формы железа.

В результате процессов выветривания происходит разрушение массивных горных пород и формирование коры выветривания с образованием обломков различной величины и формы. Те минералы в ее составе, которые претерпели только механическое разрушение, не изменяя своего химического состава и строения, называются *первичными минералами*. Так, в состав почвы входят кварц, слюды, полевые шпаты. В тех же случаях, когда под воздействием рассмотренных выше факторов эти параметры видоизменяются, формируются *вторичные минералы*.

Интенсивность и направленность процессов выветривания зависят не только от характера и состава горных пород, но и от среды, в которой они протекают. Большое значение имеют концентрация и состав солевых растворов, реакция среды, окислительно-восстановительные условия и т.д. Заметную роль в этом играют также климатические условия: интенсивность выветривания определяется главным образом температурой и количеством осадков. В связи с этим выделяют сиаллитный и аллитный типы выветривания. *Сиаллитный* тип развивается в умеренном климате при среднем количестве осадков. В таких условиях образуются преимущественно вторичные алюмо- и ферросиликаты. *Аллитный* тип имеет развитие в условиях влажного тропического климата, где интенсивно протекает гидролиз с образованием гидратов оксидов кремния, алюминия и железа.

Таким образом, в процессе выветривания горные породы подвергаются глубоким физическим и химическим изменениям, и порода приобретает ряд новых свойств, благоприятных для жизни растений.

Минералогический состав почв и пород. Процессы выветривания изверженных горных пород, рассмотренные выше, являются первым этапом к процессу почвообразования. В результате их действия формируются рыхлые горные породы, представляющие собой смесь продуктов физического и химического выветривания, т.е. смесь первичных и вторичных минералов.

Количество первичных минералов, составляющих изверженные породы, исчисляется сотнями, однако, количество минералов, слагающих основную массу пород, невелико. Так, согласно У. Кларку, магматические породы имеют следующий минералогический состав: полевые шпаты – 59,5 %, амфиболы (роговые обманки) и пироксены – 16,8 %, кварц – 12,0 %, слюды – 3,8 %, прочие минералы – 7,9 %. Эти минералы, как отмечалось ранее, характеризуются различной устойчивостью к выветриванию. По прочности их можно расположить в следующей последовательности: кварц > полевые шпаты > роговые обманки и пироксены > слюды. В связи с этим относительное содержание первичных минералов в почвах и почвообразующих породах иное, чем в магматических. Преобладающим минералом в них является кварц, его доля составляет 40–60 %. Второе место занимают полевые шпаты (20 % и более), характеризующиеся большой механической прочностью, но менее устойчивые к химическому выветриванию. Также легко поддаются выветриванию амфиболы, пироксены и слюды, поэтому их содержание в почвах и рыхлых породах невелико.

Устойчивость первичных минералов к выветриванию определяется их химическим составом и кристаллической структурой. Рассматриваемые минералы обладают структурами ионного типа, образованными противоположно заряженными ионами. *Пространственное расположение ионов в кристаллах минералов называется кристаллической решеткой.* Она характеризуется геометрически правильным строением. Поэтому кристаллы минералов имеют форму правильных многогранников. Для каждого минерала она индивидуальна.

Взаимное расположение анионов и катионов в кристаллической решетке определяется их объемом или величиной радиуса. *Число ионов противоположного заряда, окружающих данный ион, называется координационным числом.* Последнее определяет взаиморасположение ионов или форму структурной единицы строения кристалла. Выделяют три основные структурные единицы: тетраэдр, октаэдр и куб. **Тетраэдр** представляет собой трехмерную фигуру с четырьмя треугольными сторонами. Схематично его можно представить в виде пирамиды с треугольным основанием. В центре такой пирамиды располагается катион кремния Si^{4+} , реже алюминия Al^{3+} , а по вершинам – ионы кислорода. Тетраэдр представляет собой компактную структуру, расстояние между ионами кислорода равно 0,28 нм. Координационное число катионов, расположенных внутри тетраэдра, равно 4.

Октаэдр можно рассматривать как две четырехсторонние пирамиды, соприкасающиеся основаниями. Он имеет восемь сторон и шесть вершин. По вершинам располагаются ионы кислорода. Пространство внутри октаэдра больше, чем в тетраэдре, связи в нем длиннее и менее прочные. Он содержит катионы средних размеров, такие как алюминий Al^{3+} , магний Mg^{2+} , железо Fe^{2+} . Координационное число катионов октаэдра равно 6.

Куб – самая простая из возможных форм расположения ионов кислорода. Он обеспечивает пространство для таких катионов как Na^+ , Ca^{2+} , K^+ . Координационное число такой структурной единицы равно 8.

Главным элементом структуры широкораспространенных в почве кислородных соединений кремния является кремнекислородный тетраэдр $(\text{SiO}_4)^{4-}$. Он обладает четырьмя свободными валентными связями, которые могут быть компенсированы присоединением катионов или соединением с другими кремнекислородными тетраэдрами.

Соединяясь между собой через кислородные ионы, тетраэдры образуют различные типы структур: островные, цепные, ленточные, листоватые (слоистые), каркасные. Каркасная структура распространена в полевых шпатах, кварце, цепная – в пироксенах, листоватая – в слюдах, глинных минералах, ленточная – в амфиболах, островная – в оливине.

В островные структуры входят кремнекислородные радикалы, включающие 1, 2, 3 и более, но конечное, число тетраэдров (рис. 55; Ремезов Н.П., 1957). В цепных, ленточных, листовых, каркасных структурах кремнекислородные тетраэдры образуют бесконечные радикалы, сочленяясь в цепочки, ленты, листы, каркасы (рис. 56; Ремезов Н.П., 1957). Формула таких радикалов показывает число атомов в элементарном звене, которое бесконечное число раз повторяется в структуре.

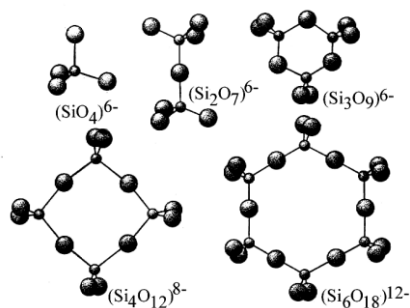


Рис. 55. Островные кремнекислородные радикалы

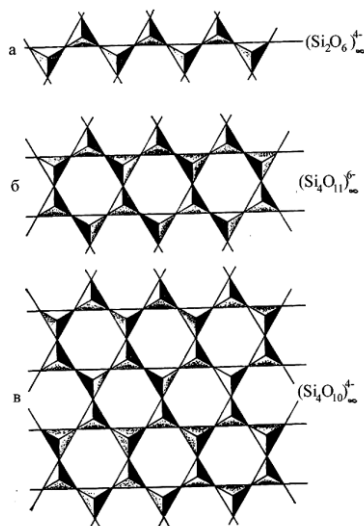


Рис. 56. Кремнекислородные радикалы: а – цепные; б – ленточные; в – листоватые

Значение первичных минералов разностороннее: от их количества зависят агрофизические свойства почвы, они являются резервным источником элементов питания для растений, из них, на их базе образуются вторичные минералы.

Вторичные минералы в почвах представлены тремя основными группами: минералы простых солей, минералы гидроксидов и оксидов и глинные минералы. **Минералы простых солей** образуются при выветривании первичных минералов, а также в результате почвообразовательного процесса. Они могут накапливаться в почвах в достаточно больших количествах в условиях сухого климата. К таким минералам относятся: кальцит CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломит $[\text{Ca}, \text{Mg}] (\text{CO}_3)_2$, сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, галит NaCl , сильвин KCl , фосфаты, нитраты и др.

Минералы гидроксидов и оксидов представлены гидроксидами кремния, алюминия, железа, марганца. Они образовались при выветривании первичных минералов в аморфной форме в виде гидратированных высокомолекулярных гелей, затем прошли этап дегидратации и кристаллизации с образованием оксидов и гидроксидов кристаллической структуры. Кристаллизации способствуют экстремальные температуры (как повышенные, так и пониженные), высушивание, окислительные условия почвы. К этой группе минералов относятся халцедон и кварц, образовавшиеся в результате преобразования гидроксид кремния $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; пиролюзит MnO_2 и псиломелан $m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – производные гидроксида марганца.

В результате кристаллизации гидроксидов железа и алюминия образуются такие вторичные минералы, как бемит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, гидраргилит (гиббсит) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Al}(\text{OH})_3$, гематит Fe_2O_3 , гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, гидрогетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. С ростом степени окристаллизованности снижается растворимость названных соединений. На нее также влияет реакция среды: при $\text{pH} < 5$ в ионную форму переходит алюминий, а при $\text{pH} < 3$ – трехвалентное железо.

От содержания и природы аморфных соединений зависят многие свойства. Так, полуторные оксиды, наряду с гумусовыми соединениями, играют важную роль в структурообразовании, а аморфные полутораоксиды обладают высокой поглощающей способностью в отношении фосфатов и делают их малодоступными растениям.

Первичные продукты выветривания могут вступать в химические реакции друг с другом. В этом случае особенно важны соединения кремнезема, с одной стороны, и полуторных оксидов, с другой, в которые также включаются некоторые основания, чаще калий и магний, реже кальций и натрий. При этом образуется ряд новых вторичных алюмо- и ферросиликатов или, так называемых, **глинных минералов**. Число их довольно велико, но широко распространены лишь некоторые. К наиболее часто встречающимся относятся глинные минералы группы монтмориллонита (монтмориллонит, нонтронит, бейделлит, сапонит и др.), каолиновой группы (каолинит, галлуазит, диккит и др.), гидрослюды (гидромусковит, гидробиотит), вермикулит, хлориты, смешаннослоистые минералы.

Все вторичные алюмо- и ферросиликаты имеют различное строение кристаллических решеток, но вместе с тем они отличаются рядом общих свойств:

1. Глинные минералы характеризуются высокой дисперсностью, они представлены в виде очень мелких кристаллов, размер которых не превышает нескольких микрометров.

2. Кристаллы этих минералов имеют пластинчатую форму, реже – игольчатую.

3. Глинные минералы обладают поглотительной способностью, которая заключается в способности катионов оснований, расположенных на поверхностях кристаллов, обмениваться на катионы, находящиеся в соприкасающемся с кристаллами растворе.

4. Присутствие в составе минералов химически связанной воды, которая выделяется лишь при нагревании.

5. Непостоянство химического состава. В кристаллической решетке глинных минералов, особенно в монтмориллоните и нонтроните, одни элементы могут замещаться другими. Например, кремний может быть замещен алюминием, алюминий – железом и магнием и т.д.

Вторичные алюмосиликаты, в меньшей мере ферросиликаты и вторичные силикаты магния, являются важнейшей составной частью различных глин и сообщают им ряд характерных свойств: пластичность, вязкость, способность к набуханию. Этим и обусловлено то, что указанные минералы носят также название глинных.

Гранулометрический состав почв. Как было отмечено выше, плотные горные породы в результате выветривания превращаются в рыхлую массу, состоящую из частиц различной величины – от крупных обломков пород до глинистых частиц диаметром в тысячные доли микрометра. То есть рыхлые горные породы, как и образовавшиеся из них почвы, являются дисперсными телами. Поскольку почвы состоят из частиц различного размера, то их можно назвать полидисперсными системами. Такого рода системы нуждаются в характеристике их по гранулометрическому составу, так как от соотношения механических элементов в почве зависят их физические, физико-химические свойства, водно-воздушный режим, условия питания растений.

Различают три типа механических элементов: минеральные, органо-минеральные, органические; среди них преобладают минеральные, на долю которых приходится 80–90 % и более.

По определению Н.А. Качинского, "под механическим элементом почвы следует понимать обособленные куски (кусочки), осколки пород и минералов, а также аморфных соединений в почве, все элементы которых (последних) находятся в химической взаимосвязи".

*Относительное содержание в почве и породе механических элементов (фракций) называют их **гранулометрическим составом**.* Его выражают в процентах на сухую навеску почвы. Понятно, что размер каждой частицы определить невозможно. Поэтому их условно объединяют в группы частиц определенного размера или фракции механических элементов. Группировка частиц по размерам называется классификацией механических элементов.

В настоящее время не выработано универсальной мировой классификации. В связи с этим в различных регионах Земного шара используют свою группировку. В частности, в западноевропейских странах применяют для характеристики гранулометрического состава шкалу Аттенберга, отличная от нее группировка Департамента сельского хозяйства США. В Российской Федерации и странах ближнего зарубежья используется классификация Н.А. Качинского, являющаяся усовершенствованной классификацией В.Р. Вильямса и А.Н. Сабанина (табл. 33; Качинский Н.А., 1958).

Сумму частиц больше 1 мм принято считать **почвенным скелетом**. Частицы мельче 1 мм называют **мелкоземом**. В пределах последнего все частицы крупнее 0,01 мм объединяют в группу **физического песка**, а все частицы мельче 0,01 мм – в группу, называемую **физической глиной**.

Таблица 33 – Классификация механических элементов почв и пород

Механические элементы	Размер механических элементов, мм	Механические элементы	Размер механических элементов, мм
Камни	>3	Пыль средняя	0,01–0,005
Гравий	3–1	Пыль мелкая	0,005–0,001
Песок крупный	1–0,5	Ил грубый	0,001–0,0005
Песок средний	0,5–0,25	Ил тонкий	0,0005–0,0001
Песок мелкий	0,25–0,05	Коллоиды	<0,0001
Пыль крупная	0,05–0,01		

Отдельные группы механических элементов по-разному влияют на свойства почвы. Это обусловлено их неодинаковым минералогическим и химическим составом, различными физическими и физико-химическими свойствами. Поэтому многочисленные количественные сочетания механических элементов обусловили большое разнообразие почв по гранулометрическому составу. Их (почвы), в свою очередь, объединяют по данному показателю в несколько групп.

Одну из первых научных классификаций почв по гранулометрическому составу дал Н.М. Сибирцев. Она была двучленной и основывалась на соотношении физической глины и физического песка. В настоящее время широко используется более совершенная классификация Н.А. Качинского (табл. 34).

Таблица 34 – Классификация почв по гранулометрическому составу

Краткое название почвы по гранулометрическому составу	Содержание физической глины (<0,01 мм), %			Содержание физического песка (>0,01 мм), %		
	почва					
	подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования; красноземы и желтоземы	солонцы и солонцеватые	подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования; красноземы и желтоземы	солонцы и солонцеватые
Песок рыхлый	0–5	0–5	0–5	100–95	100–95	100–95
Песок связный	5–10	5–10	5–10	95–90	95–90	95–90
Супесь	10–20	10–20	10–20	90–80	90–80	90–80
Суглинок легкий	20–30	20–30	15–20	80–70	80–70	85–80
Суглинок средний	30–40	30–45	20–30	70–60	70–55	80–70
Суглинок тяжелый	40–50	45–60	30–40	60–50	55–40	70–60
Глина легкая	50–65	60–75	40–50	50–35	40–25	60–50
Глина средняя	65–80	75–85	50–65	35–20	25–15	50–35
Глина тяжелая	> 80	> 85	> 65	< 20	< 15	< 35

По этой классификации основное разделение проведено по содержанию физической глины и физического песка. Все породы и почвы по гранулометрическому составу объединены в 9 групп с характерными для каждой группы физическими, физико-химическими и химическими свойствами. Данная классификация составлена с учетом типов почв. Это обусловлено тем, что, как отмечал Н.А. Качинский (1958), "глина или другая по механическому составу почва – это не субстрат, содержащий во всех случаях x % физической глины и y % песка, а почва, обладающая определенной вязкостью, сопротивляемостью при

пахоте и прочими свойствами. А так как свойства почвы зависят не только от количества механических элементов определенной крупности, но и от свойств этих элементов, и в различных почвах они не одинаковы, то закономерно дифференцировать классификации применительно к типам почв".

В целях отгениения в гранулометрическом составе соотношения фракций гравия, песка, пыли и ила, в классификационную таблицу вводится понятие преобладающих фракций. Ими являются гравелистая фракция (1–3 мм), песчаная (0,05–1 мм), крупнопылеватая (0,01–0,05 мм), пылеватая (0,001–0,01 мм) и илистая (<0,001 мм).

В подробной классификации учитывается соотношение всех вышеперечисленных фракций механических элементов. Например: черноземная почва содержит 70 % физической глины, 45 % ила, 25 % пыли (средней и мелкой), 20 % крупной пыли, 10 % песка. В этой почве первой преобладающей фракцией будет ил, на втором месте по количеству будет пыль, на третьем – крупная пыль и песок. Такая почва по гранулометрическому составу будет носить следующее название: глина легкая, пылевато-иловатая.

Краткая шкала, учитывающая только соотношение физической глины и физического песка, используется при ориентировочном определении гранулометрического состава в поле (упрощенными приборами и методами) и при составлении мелкомасштабных карт. Подробная шкала рекомендуется при: картировании опытных участков и участков Госсортосети; крупномасштабных исследованиях в почвенно-мелиоративных целях; обследовании территорий под специальные культуры (свекла, хлопок, чай, виноградники, садовые культуры); всех почвенных съемках, начиная с масштаба 1:25000 и точнее.

При использовании любой из двух названных шкал, *классификация каменистых почв по гранулометрическому составу* должна сопровождаться указаниями на степень их каменистости. По данному показателю выделяют следующие почвы: 1) **некаменистая** – каменистого материала менее 0,5 %, почва в отношении обработки считается нормальной, 2) **слабокаменистая** – каменистого материала 0,5–5,0 %; при условии, что этот материал представлен мелким щебнем или галькой, почва обрабатывается нормально, но наблюдается ускоренный износ рабочих поверхностей орудий обработки; 3) **среднекаменистая** – содержание каменистого материала 5–10 %; для нормальной обработки почвы необходимо вычесывание крупного каменистого материала; 4) **сильнокаменистая** – каменистого материала >10 %; для возделывания однолетних культур требуются трудоемкие работы по удалению каменистого материала с поля.

Знание гранулометрического состава почв позволяет до известной степени предсказывать некоторые их свойства. Так, чем почва более глинистая, или, как принято говорить, чем она тяжелее по гранулометрическому составу, тем она должна быть более плотной, вязкой, менее водопроницаемой. И, наоборот, чем больше в почве песка, то есть чем легче по гранулометрическому составу, тем она будет менее вязкой, менее плотной, более водопроницаемой. Кроме этого, тяжелые почвы, как правило, богаче гумусом, зольными элементами и азотом, отличаются более высокой емкостью катионного обмена.

Однако это правило отражает явление лишь в самом общем виде. На перечисленные свойства почв большое влияние оказывает наличие у них структуры. Одна и та же глина в бесструктурном состоянии может быть совершенно водонепроницаемой, а при наличии прочной ореховатой структуры она будет хорошо пропускать воду.

Кроме гранулометрического состава почв, различают еще их **агрегатный состав**. Дело в том, что в естественных почвах отдельные минеральные зерна, из которых они состоят, т.е. отдельные механические элементы, склеены в комочки различной величины с поперечником от нескольких миллиметров до тысячных долей миллиметра. Эти комочки и называются агрегатами. Агрегаты объединяют во фракции по их размеру в соответствии с той же шкалой, что и для гранулометрического состава. На основании этого определяют агрегатный состав почв. Последний имеет большое значение для суждения о свойствах почв, так как такие агрегаты, как правило, являются водопрочными и сохраняются в почве, не распадаясь на составляющие их зернышки.

Сопоставляя гранулометрический и микроагрегатный состав, можно найти объективный численный показатель, который характеризует способность почвы образовывать агрегаты. Таковым является **коэффициент дисперсности почвы** (K_k), предложенный Н.А. Качинским. Он представляет собой выраженное в процентах отношение содержания илстых частиц в почве, определенное при микроагрегатном анализе (a), к их содержанию, установленному при гранулометрическом анализе (b):

$$K_k = \frac{a}{b} \cdot 100 \% .$$

Чем выше коэффициент дисперсности, тем более распылена почва и тем хуже ее водно-воздушные свойства и, как следствие, условия произрастания растений.

6.4.2. Органическое вещество почвы

Основным признаком, отличающим горную породу от почвы, является наличие в последней органического вещества. Первоначальное накопление органического вещества происходит в результате жизнедеятельности низших организмов, поселяющихся на горных породах. Выше было показано, что в результате действия и взаимодействия различных факторов выветривания (физических, химических, биологических) порода разрыхляется, приобретает большую влагоемкость; постепенно создаются условия, благоприятствующие произрастанию высших растений. Важную роль в этом процессе играют биологические факторы: в результате жизнедеятельности низших организмов, поселяющихся на породах, происходит первоначальное накопление органического вещества, а также локальная аккумуляция таких элементов как азот, фосфор, сера, кальций и др.

С поселением высших растений значительно ускоряется процесс накопления образующегося органического вещества. После отмирания микроорганизмов, входящие в их состав соединения подвергаются процессам разложения и вторичного синтеза, образуя специфическую субстанцию, называемую почвенным гумусом.

Гумусообразование и влияние факторов почвообразования на его скорость и характер. Органическая часть почвы представлена сложным комплексом разнообразных органических веществ, которые подразделяются на две группы: негумифицированные органические вещества растительного и животного происхождения и гумус. Источниками гумуса являются органические остатки высших растений, микроорганизмов и животных, обитающих в почве. Гумус, в свою очередь, состоит из собственно гумусовых (специфических) веществ, а также продуктов глубокого распада органических остатков и ресинтеза микроорганизмов (неспецифические вещества).

Продукты распада и ресинтеза представлены органическими соединениями индивидуальной природы (белки и аминокислоты; углеводы и их производные: жиры, воска, смолы, дубильные вещества, лигнины и пр.). В сумме органические соединения индивидуальной природы составляют 10–15 % от общего запаса гумуса в почвах. Основная масса гумуса (85–90 %) представлена его специфической частью – собственно гумусовыми веществами.

Гумусовые вещества состоят из ряда высокомолекулярных соединений, имеющих кислотный характер. Большая часть из них находится в различных формах связи с минеральной частью почвы. Они образуются и накапливаются преимущественно в почвах, являются продуктами почвообразования и отражают его условия.

По определению Д.С. Орлова (1990), "гумус представляет собой совокупность всех органических соединений, находящихся в почве, но не входящих в состав живых организмов или образований, сохраняющих анатомическое строение, вернее, не участвующих в построении тканей таких остатков. *Гумус – это индивидуальные (как специфические, так и неспецифические) органические соединения, продукты их взаимодействия, а также органические соединения, находящиеся в форме органо-минеральных образований*".

Представление о природе гумуса и путях его формирования претерпели определенную эволюцию. Пожалуй, первым можно считать биологическое направление в теории гумусообразования. Его истоки восходят к работе М.В. Ломоносова "О происхождении перегноя". Развитие этого направления связано с открытиями Л. Пастера, исследованиями Ч. Дарвина, П.А. Костычева, Е. Раманна. Суть этого учения состоит в том, что почвенное органическое вещество является продуктом жизнедеятельности животных и растительных организмов, и в особенности почвенных микроорганизмов. Эта теория получила развитие в исследованиях С.П. Кравкова и А.Г. Трусова. Они считали, что легкоусвояемые органические кислоты являются косвенным источником гумуса, так как предварительно превращаются в плазму микроорганизмов. Трудноусвояемые органические вещества – лигнин, дубильные вещества и другие соединения сложной ароматической природы – являются прямым источником гумусовых веществ. Продукты их распада окисляются, конденсируются и превращаются в темноокрашенные гумусовые вещества. В.Р. Вильямс образование гумуса рассматривал как процесс перемежающегося синтеза органического вещества в высших организмах и его разложения микроорганизмами после отмирания.

С. Ваксману принадлежит теория образования гумуса как лигнино-протеинового комплекса. Взаимодействие лигнина с протеинами осуществляется в результате химической конденсации по типу шиффовых оснований. Следовательно, по С. Ваксману, гумус не представляет собой ничего специфического.

Большой вклад в теорию гумусообразования внес И.В. Тюрин. Он рассматривал гумусообразование как сочетание ряда противоречивых процессов. Растительные и животные остатки разлагаются под влиянием микроорганизмов, почвенных животных и абиотических факторов. Продукты разложения – соединения циклического характера и синтезированная микробная плазма в результате окисления, полимеризации с участием катализаторов дают устойчивые гумусовые соединения.

Идеи И.В.Тюрина получили развитие в работах М.М. Кононовой. Она предложила схему образования гумусовых соединений, согласно которой все растительные остатки в процессе гумификации проходят стадию ассимиляции микроорганизмами и материалом гумификации служат продукты их метаболизма. Этот путь очень важен, но не является единственным.

Ф. Дюшофур под процессом гумификации понимает совокупность процессов, ведущих к образованию коллоидного комплекса, трансформированного биохимическим путем из растительных остатков и связанного с минеральными коллоидами. Процесс гумификации, по Дюшофур, имеет две фазы. Первая – биологическая – относительно короткая, в которой господствующими являются микроорганизмы и их ферменты, завершается образованием "молодого" гумуса с непрочными связями с минеральной частью почвы. Вторая – фаза созревания – климатическая, более продолжительная и обусловленная сезонными контрастами климата, завершается формированием зрелого гумуса и умножением связей с минеральной частью почвы.

Наиболее полная и всесторонняя схема гумусообразования разработана Л.Н. Александровой (рис. 57; Александрова Л.Н., 1980). Она включает процессы распада органических остатков, микробный синтез, гумификацию, взаимодействие с минеральной частью почвы и, с другой стороны, процессы минерализации и вовлечение минеральных компонентов в биологический круговорот. Согласно этой схеме, продукты микробного синтеза также являются источниками гумусовых кислот. С другой стороны, продукты полураспада могут взаимодействовать с минеральной частью почвы и вымываться за пределы почвенного профиля.

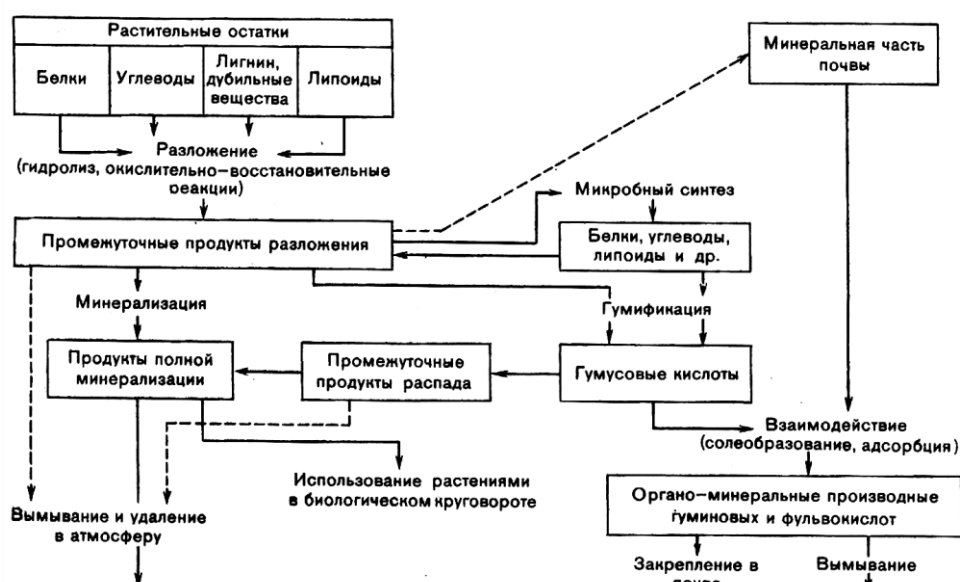


Рис. 57. Схема процесса гумусообразования в почве

Таким образом, основным процессом, характерным, главным образом, для почв и приводящим к формированию специфического органического вещества – гумуса, является гумификация. По определению Л.Н. Александровой, *гумификация* – это сложный биофизико-химический процесс трансформации промежуточных высокомолекулярных продуктов разложения органических остатков в особый класс органических соединений – гумусовых кислот. В свою очередь, он подразделяется на несколько этапов. Начальный этап – это окислительное кислотообразование, т. е. формирование гумусовых кислот, подвергающихся в дальнейшем длительным и сложным процессам трансформации. Одновременно формируется азотистая часть молекулы гумусовых кислот. На первом этапе про-

исходит и фракционирование образующихся гумусовых кислот по степени растворимости на группу гуминовых и фульвокислот. В результате взаимодействия с минеральной частью почвы образуются органо-минеральные соединения. Вторая стадия выражается в постепенном нарастании ароматизации вследствие частичной деструкции алифатических цепей путем гидролиза и процессов окисления при участии окислительных ферментов. Стадия минерализации гумусовых веществ завершает процесс их трансформации.

Скорость и характер гумификации зависят от множества факторов. Это количество и характер поступающих растительных остатков, их химический состав, режим влажности и аэрации, реакция среды и окислительно-восстановительные условия, интенсивность микробиологической деятельности и групповой состав микроорганизмов, а также гранулометрический, минералогический и химический состав минеральной части почвы.

Наиболее благоприятным органическим субстратом для гумусообразования являются остатки травяной растительности, особенно бобовых растений. Они богаты такими легкоразлагаемыми соединениями, как белки, углеводы, органические кислоты, а также зольными элементами. При разложении их в почвах с высоким содержанием оснований, прежде всего кальция, образуется "мягкий" или *мулевый гумус*, равномерно пропитывающий минеральную часть почвы. Мулевый гумус образуется в почвах под лиственными и смешанными лесами с активной деятельностью почвенной фауны. Последняя, в свою очередь, благоприятствует процессу гумификации, смешивая лиственный опад с минеральной частью почвы.

Остатки древесной растительности (хвоя, древесина) характеризуются низким содержанием белков и зольных элементов, но обогащены трудноразлагаемыми лигнином, клетчаткой, гемицеллюлозами, а также отличаются наличием смол и дубильных веществ, замедляющих гумификацию. Они поступают в почву главным образом в виде наземного опада, разложение которого проходит в условиях сквозного промывания осадками. Подстилка разлагается при участии грибов с образованием большого количества органических кислот, нейтрализация которых затруднена вследствие интенсивного выщелачивания оснований. Кислая реакция подавляет гумификацию и на поверхности почвы формируется "грубый" гумус (*модер-гумус*), содержащий много полуразложившихся остатков.

В зависимости от водно-воздушного режима гумусообразование может протекать в аэробных или анаэробных условиях. Наиболее типичными являются следующие сочетания температурного и водно-воздушного режимов.

1. Гумусообразование протекает в аэробных условиях, но при достаточном количестве влаги (60–80 % полной влагоемкости) и благоприятном температурном режиме (25–30 °С). В этом случае интенсивно идет минерализация промежуточных продуктов, а также самих гумусовых веществ. Почвы, сформировавшиеся в таких условиях, характеризуются низким содержанием гумуса, но высокой обеспеченностью азотом и зольными элементами. Такими свойствами обладают почвы субтропиков.

2. Температурные условия благоприятные, но почвы испытывают постоянный и резкий недостаток влаги. В таких условиях формируется скудная растительность, в почве накапливается мало растительных остатков. К тому же процессы их разложения и гумификации затруднены из-за недостатка влаги. В результате образуются почвы с низким запасом гумуса и элементов питания растений

3. Образование гумуса проходит в анаэробных условиях при постоянном избыточном увлажнении и низких температурах. В этом случае разложение органических остатков осуществляют анаэробные бактерии. В составе про-

межуточных продуктов разложения присутствуют низкомолекулярные органические кислоты и газообразные продукты (CH_4 , H_2S), угнетающие жизнедеятельность микроорганизмов. Это, а также пониженные температуры тормозят процессы гумусообразования. Разложение и гумификация органических остатков идут слабо, что приводит к образованию торфа.

4. Наиболее благоприятными для гумусообразования являются условия периодического умеренного увлажнения и иссушения при умеренных температурах. В этом случае происходит постепенное разложение органических остатков, их энергичная гумификация и закрепление образующихся гумусовых веществ минеральной частью почвы. Такой режим свойствен черноземам.

Процессы гумусообразования в значительной мере зависят от видового состава почвенной микрофлоры и интенсивности ее жизнедеятельности. Так, северные подзолистые почвы характеризуются довольно низкими значениями этих показателей. При продвижении на юг наблюдается увеличение количества микроорганизмов в почве, расширяется их видовой состав, возрастает интенсивность жизнедеятельности. Сопоставление запасов гумуса в различных почвах с наличием в них микроорганизмов свидетельствуют о том, что как слабая, так и высокая биогенность почвы не способствуют его накоплению. Наибольшее его количество отмечается в почвах со средней численностью микроорганизмов, приходящейся на единицу содержания азота.

Еще одним важным фактором гумусообразования является гранулометрический состав и связанные с ним физико-химические свойства почвы. В песчаных и супесчаных почвах, отличающихся хорошей аэрацией и прогреваемостью, происходит интенсивное разложение органических остатков, вплоть до их полной минерализации. Образующиеся гумусовые вещества плохо закрепляются на поверхности песчаных частиц и быстро минерализуются. В глинистых и суглинистых почвах при прочих равных условиях процессы разложения замедляются, образуется больше гумусовых веществ, которые хорошо закрепляются на поверхности высокодисперсных минеральных частиц и постепенно накапливаются в почве.

И, наконец, гумусообразование в большой степени зависит от химического и минералогического состава почвы. Этими показателями определяются реакция среды, условия для закрепления гумусовых веществ в почве, наличие элементов питания, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов. Наиболее выгодные условия для накопления гумуса создаются в почвах, богатых кальцием. Такие почвы характеризуются нейтральной реакцией, благоприятной для развития микрофлоры. Гуминовые кислоты образуют с кальцием практически нерастворимые в воде соли – гуматы кальция. С глинистыми минералами гумусовые кислоты также образуют прочные соединения.

Состав и свойства гумусовых соединений. Гумус почв представляет собой сложный динамический комплекс органических соединений, образовавшихся при разложении и гумификации растительных остатков. Его содержание колеблется от 1–2 % в сероземах до 10–12 % в мощном черноземе, а запасы в метровой толще изменяются от 50 до 650–800 т/га. Современная теория почвообразования рассматривает гумус как сложную динамическую самоуправляемую систему открытого типа, отличающуюся спецификой составляющих элементов, особенностями связей между ними, пространственно-временными взаимоотношениями, процессами самоорганизации, саморегулирования и т. п. Поэтому для познания свойств и функций отдельных компонентов этой системы, их роли в почвообразовании, необходимо их выделение, группировка по общим признакам и последующее изучение. Качествен-

ные особенности гумуса различных типов почв характеризуются, по И.В. Тюрину, количественным соотношением групп и фракций его важнейших составных частей. *Под групповым составом гумуса* понимают набор и количественное содержание специфических и неспецифических соединений, входящих в его состав. В свою очередь, группа веществ – это совокупность родственных по строению и свойствам соединений. Важнейшими группами гумусовых веществ являются: **гуминовые кислоты (ГК)**, **фульвокислоты (ФК)**, **гумин**, различные группы неспецифических соединений. Наиболее значительными как в количественном отношении (85–90 % в составе гумуса), так и по роли в почвообразовании и плодородии почв являются специфические соединения, входящие в первые три из перечисленных групп.

Гуминовые и фульвокислоты выделяют в особый класс – **гумусовые кислоты**. Их определяют как соединения переменного состава (гуминовые вещества) в пределах однородной группы (фракции) сохраняющие общий принцип строения; их физические и химические свойства практически не зависят от частичных изменений элементного, фрагментарного составов и функциональных групп конкретных молекул. **Гумусовые кислоты** – это азотсодержащие высокомолекулярные оксикарбоновые соединения с интенсивной темно-бурой или красновато-бурой окраской. Из почвы их экстрагируют растворами щелочей, а затем по растворимости разделяют на гуминовые и фульвокислоты.

Гуминовые кислоты (ГК) представляют собой комплекс сложных органических соединений ароматической природы. Они выполняют в значительной мере консервативную роль, придавая почвам устойчивые признаки, существующие длительное время, и обуславливая их многие важнейшие свойства и функции: запас гумуса, емкость катионного обмена, буферность и пр.

Гуминовые кислоты отделяют от других компонентов щелочной вытяжки путем ее подкисления до $pH=1-2$. В кислой среде они выпадают в осадок. Строение молекулы гуминовой кислоты до настоящего времени окончательно не выяснено. Наиболее полное представление о нем дает блок-схема, предложенная В. Мистерски и В. Логиновым в 1959 г. и не утратившая своего значения до сих пор. Она показывает, что *гуминовая кислота содержит ядро, представленное ароматическими шестичленными кольцами, куда входят хиноны, кислородо- и азотсодержащие гетероциклы, спиртовые, карбоксильные и карбонильные группы*. Ядро окружено периферическими алифатическими цепями, в том числе углеродного и полипептидного характера. За счет комплексообразования и сорбции частица ГК содержит также минеральные компоненты, в первую очередь железо, алюминий, кальций, фосфаты.

Элементный состав гуминовой кислоты, по Д.С. Орлову (1990), следующий (мас. %): углерод 46–62 %, азот 3–6 %, водород 3–5 %, кислород 32–38 %. Кроме этих четырех элементов ГК практически всегда содержат серу, фосфор и катионы различных металлов. Содержание серы колеблется от десятых долей процента до 1,0–1,2 %, фосфора – сотые и десятые доли процента. Сера можно считать обязательным конституционным элементом, она присутствует, в частности, в составе аминокислот метионина и цистина. Кроме того, она входит в состав ГК и в виде адсорбируемых комплексов (сульфатная сера). Фосфор представлен остатками нуклеопротеидов, инозитолфосфатов, фосфолипидов, хемосорбированных фосфатов.

Фульвокислоты (ФК) представляют собой высокомолекулярные оксикарбоновые кислоты, содержащие азот, растворимые в водных, щелочных и кислых растворах. Строение ФК менее изучено, чем гуминовых кислот. Однако точно

установлено, что по сравнению с ГК фульвокислоты характеризуются преобладанием в их структуре боковых цепей линейно полимеризованного углерода и меньшим участием сеток ароматического углерода. По представлениям Х. Кодама и М. Шнитцера, фрагмент ФК должен включать два ароматических кольца, шесть групп COOH , две кетонные группы C=O , два фенольных и три спиртовых гидроксилы. Сочетание этих структурных элементов может быть различным.

Элементный состав фульвокислот отличается от такового у гуминовых кислот меньшим содержанием С и N и большим O, как видно из следующих данных (Орлов Д.С., 1990) (мас. %):

Углерод (С)	36–44 % (мас. %)
Азот (N)	3,0–4,5 %
Водород (H)	3–5 %
Кислород (O)	45–50 %.

Соотношение С:Н всегда уже в фульвокислотах, чем в гуминовых.

Гумусовые кислоты (ГК и ФК), характеризуются наличием функциональных групп, которые определяют их свойства и реакционную способность. В настоящее время идентифицировано около 15 видов различных функциональных групп, среди которых наибольшее значение имеют карбоксильные группы COOH , фенольные группы $-\text{OH}_{\text{фен}}$, аминогруппы $-\text{NH}_2$, спиртовые, метоксильные $-\text{O}-\text{CH}_3$, амидные группы.

Наличие кислых функциональных групп в гумусовых кислотах, в первую очередь ($\text{COOH}+\text{OH}_{\text{фен}}$), определяет кислотные свойства этих веществ и обуславливает участие в процессах обменного поглощения катионов. Диапазон содержания кислых функциональных групп в гумусовых кислотах почв различных природных зон велик. Однако практически во всех случаях фульвокислоты значительно богаче кислыми группами, чем гуминовые кислоты; в ФК общую кислотность определяют преимущественно карбоксилы, тогда как в ГК это преобладание почти не выражено.

Еще одной большой группой гумусовых веществ является *гумин*. Выделение этой группы является наиболее дискуссионным вопросом, поскольку само понятие "гумин" до сих пор неоднозначно.

С одной стороны, термин "гумин" употребляется как синоним понятия "негидролизующий остаток". В этом случае гумин содержит две генетически разные группы соединений: наиболее устойчивую к щелочному и кислотному гидролизу часть биогенных веществ (лигнин, целлюлоза) и наиболее прочно закрепленные минеральной частью почв специфические почвенные вещества – гумусовые. Последние представлены гумусовыми кислотами, прочно связанными с минеральной частью, а также декарбоксилированными гумусовыми веществами, утратившими способность растворяться в щелочах. С другой стороны, ряд авторов используют термин "гумин" для обозначения группы гумусовых кислот, которые наиболее прочно связаны с минеральной частью почв.

Согласно современной классификации гумусовых веществ, рекомендованной X Международным конгрессом почвоведов, *гумин* (негидролизующий остаток) – это совокупность органических соединений, остающихся в почве после экстрагирования лабильных компонентов щелочами и органическими растворителями, включающих специфические и неспецифические органические вещества и их органо-минеральные (и минерально-органические) производные.

Д.С. Орлов выделяет еще одну самостоятельную группу гумусовых веществ – прогуминовые вещества типа "молодых" гуминоподобных продуктов, образующихся в культурных средах и при ферментативном синтезе. В методах анализа

качественного состава гумуса определение прогуминовых веществ не предусмотрено, но их присутствие обнаруживается при детальном фракционировании выделенных из почвы препаратов. Эти вещества являются продуктами современного процесса гумификации, имеют тот же принцип строения и свойства, что и гумусовые кислоты почв, но отличаются от последних по основным показателям, характеризующим состав макромолекул и некоторые элементы их структуры. Прогуминовые вещества тесно смыкаются с промежуточными продуктами распада органических остатков, разделяющая их граница условна и расплывчата. Поэтому в принятой в настоящее время классификации их выделение не предусмотрено.

Таким образом, в составе гумуса или гумусовых веществ почв выделяют три самостоятельные группы: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумин (негидролизуемый остаток). Все эти группы отличаются структурой и ролью в процессе почвообразования. Групповой состав гумуса отражает специфику процесса гумификации в различных типах почв и является функцией их биохимической активности.

Под фракционным составом понимается распределение веществ, входящих в группу органических соединений, по формам их связей с минеральными компонентами почвы. Фракционный состав является функцией содержания и состава солей, минералогического состава почв и условий протекания реакций взаимодействия, среди которых наиболее важны степень кислотности и щелочности почв. **Фракцией**, по представлениям И.В. Тюрина и В.В. Пономаревой, называют часть группы, отличающуюся от других частей той же группы веществ формой связи с минеральными компонентами почвы. Выделяют следующие формы гумусовых веществ в почве: 1) свободные гумусовые кислоты (гуминовые и фульвокислоты); 2) гетерополярные соли гумусовых кислот; 3) комплексно-гетерополярные соли гумусовых кислот.

Гетерополярными солями называются соединения аммония, щелочных и щелочноземельных металлов с гумусовыми кислотами. Соли гуминовой кислоты называются **гуматами**, фульвокислоты – **фульватами**. Эти соли образуются за счет обменно-химической реакции между катионами металла и ионами водорода карбоксильных и фенолгидроксильных групп гумусовых кислот.

Гуматы щелочных металлов и аммония хорошо растворяются в воде и образуют истинные и коллоидные растворы, легковымываемые из почвы. Постепенно, прочно склеиваясь с поверхностью минеральных частиц, они могут закрепляться в почве. Гуматы Са и Mg нерастворимы в воде и образуют водопрочные гели, которые обволакивают минеральные частицы и склеивают их в водопрочные агрегаты.

Фульваты аммония, щелочных и щелочноземельных металлов растворимы в воде при любой реакции почвы и легко вымываются из нее.

Характерной особенностью гетерополярных солей гумусовых кислот является их способность к обменным реакциям с любыми другими щелочными и щелочноземельными катионами.

Комплексно-гетерополярными солями гумусовых кислот называются продукты взаимодействия гумусовых кислот и их гетерополярных солей с несиликатными формами полутораоксидов.

Это сложные алюмо-железогумусовые соединения комплексной природы, образовавшиеся в результате обменной реакции между водородом функциональных групп гумусовых кислот и катионами железа в форме $Fe(OH)_2^+$, $Fe(OH)^{2+}$ или алюминия Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$.

В этих соединениях все железо и значительное количество алюминия находятся в анионной части молекулы и связывают часть карбоксильных и фе-

нолгидроксильных групп, теряющих способность к обменному поглощению щелочных и щелочноземельных металлов. Часть функциональных групп в алюмо- и железогумусовых соединениях остается свободной и сохраняет способность к обменным реакциям. Подвижность железо- и алюмогумусовых соединений различна и определяется характером гумусовых кислот, составом обменных катионов, насыщающих свободные функциональные группы, степенью насыщенности их алюминием и железом и степенью закрепления на поверхности твердой фазы почвы. Наиболее подвижны алюмо- и железосульфатные соли, не закрепленные на поверхности минеральных частиц. Именно они создают пленки на поверхности структурных отдельностей. Они могут выпадать в осадок при возрастании относительного содержания Fe или Al, образуя конкреции. Алюмо- и железогуминовые соли менее подвижны. Как правило, они накапливаются в месте образования, однако, при насыщении их натрием возможна пептизация и перемещение этих соединений вниз по профилю.

Перечисленные формы гумусовых веществ могут быть свободными или более или менее прочно связанными с кристаллической решеткой несиликатных полуторных оксидов и глинных минералов, формируя органо-минеральные коллоиды. Последние могут находиться в почве в относительно свободном состоянии в виде микроагрегатов или быть закрепленными на поверхности более крупных частиц.

Групповой и фракционный состав лежит в основе характеристики гумусного состояния целинных и пахотных почв.

Роль гумуса в почвообразовании, плодородии и пути регулирования гумусного состояния почв. Гумус играет значительную роль в почвообразовании и формировании почвенного плодородия. Основоположник отечественного почвоведения В.В. Докучаев придавал большое значение гумусу как компоненту, исключительно важному для генетической диагностики почв, и как источнику плодородия. В.Р. Вильямс отмечал, что "весь химизм почвы есть не более как функция организации органического вещества", включая в это понятие, в первую очередь, гумус, а также указывал на видную роль его в процессах круговорота углерода и азота, а также миграции ряда элементов. Уже на первых этапах почвообразования гумусовые вещества и промежуточные продукты разложения органических остатков активно участвуют в этом процессе и, являясь факторами биологического выветривания, способствуют разрушению горных пород. Наиболее интенсивно минералы разлагаются под действием фульвокислот, водные растворы которых обладают сильноокислой реакцией, а также низкомолекулярных продуктов разложения органических остатков (органические кислоты, фенолы, аминокислоты и т. д.)

Велика роль гумуса в формировании почвенного профиля во всех природных зонах, причем характер этого участия обусловлен составом гумусовых веществ. В.В. Пономарева отмечала, что типы почвообразования являются почти синонимами типов гумусообразования или, точнее, общего цикла превращения органических остатков растений. Так, в тех почвах, где образуются преимущественно гуминовые кислоты, аккумулирующиеся в зоне их образования, формируется хорошо выраженный гумусовый горизонт той или иной мощности (от 5–20 см до 50–70 см) с высокой поглощательной способностью. В таких почвах отношение гуминовых кислот к фульвокислотам (ГК/ФК) больше 1.

Если в почвах преобладают фульвокислоты (ГК/ФК < 1), что характерно для почв временного или постоянного избыточного увлажнения, то они легко обедняются кальцием, магнием, калием и другими основаниями. Это связано с тем,

что фульвокислоты образуют с ними растворимые соли, мигрирующие вниз по профилю. Реакция такой почвы становится кислой, происходит разрушение силикатов и алюмосиликатов как первичных, так и вторичных минералов.

Гумус играет первостепенную роль в образовании и развитии многих свойств и режимов почв, и вряд ли его функции можно будет заменить другими средствами. Д.С. Орлов выделяет пять важнейших функций гумусовых веществ: аккумулятивную, транспортную, регуляторную, протекторную и физиологическую.

Аккумулятивная функция состоит в накоплении в почвах в форме органических соединений углерода, азота, фосфора, других необходимых для жизнедеятельности растений элементов, включая микроэлементы. Все эти вещества могут быть внесены в виде минеральных удобрений, однако, гумус обеспечивает более постепенное их выделение и в то же время предохраняет от потери из почвы. Многочисленные исследования показывают, что до 60 % азота, потребляемого сельскохозяйственными культурами, гумусового происхождения, а минеральные удобрения не заменяют его.

Транспортная функция заключается в формировании геохимических потоков минеральных и органических соединений, преимущественно в водных средах за счет образования устойчивых, но сравнительно легко растворимых (или пептизируемых) комплексных соединений гумусовых кислот с катионами металлов, гидроксидами, некоторыми биоорганическими молекулами, или образования адсорбционных соединений гумусовых кислот со слоистыми алюмосиликатами. Именно в этих формах мигрирует в почвенных профилях преобладающая часть органических и неорганических соединений.

Регуляторная функция гумусовых веществ сложна и многопланова. К ней можно отнести: 1) формирование почвенной структуры и водно-физических свойств; 2) регулирование равновесий в реакциях ионного обмена, кислотно-основных, окислительно-восстановительных процессах; 3) регулирование условий минерального питания растений за счет влияния гумусовых веществ на растворимость минеральных компонентов и доступность живым организмам; 4) регулирование теплового режима почв путем влияния на их спектральную отражательную способность, на теплоемкость и теплопроводность почвенной массы; 5) регулирование процессов внутрипочвенной дифференциации химического состава.

Протекторная функция заключается в способности гумусовых веществ связывать в малоподвижные или труднодиссоциирующие соединения токсичные элементы или вещества, в том числе тяжелые металлы, пестициды, радиоактивные изотопы. Экспериментально установлено, что в почвах с большим запасом гуминовых кислот, гумина резко повышаются предельно допустимые концентрации тяжелых металлов, а также снижается и негативное влияние повышенных доз минеральных удобрений.

Физиологическая функция гумусовых веществ состоит в их стимулирующем действии на микроорганизмы, растения и животные ткани. В частности, гумусовые кислоты могут оказывать положительное влияние на функциональное состояние митохондрий и хлоропластов, что способствует активизации дыхания и фотосинтеза.

Таким образом, характеристика функций гумуса позволяет говорить о значительной и уникальной его роли в агроценозах. Поэтому важным является вопрос о влиянии сельскохозяйственной деятельности на гумусное состояние почв. При освоении целинных земель в первые годы наблюдается резкое снижение содержания гумуса. Впоследствии происходит его стабилизация, а фор-

мирующийся уровень запасов гумуса определяется сложившейся в каждом конкретном случае культурой земледелия. При этом следует иметь в виду, что, как правило, ухудшается качественный состав органического вещества почв.

По различным оценкам, потери гумуса в основных типах почв Российской Федерации и ближнего зарубежья составили от 33 до 50 % от исходных запасов. По данным многолетних полевых опытов, в пахотном слое дерново-подзолистых почв ежегодно минерализуется 0,6–0,7 т, в черноземе типичном – 0,5–1,0 т, а под пропашными культурами – до 1,5 т. По Краснодарскому краю в среднем за год теряется около 1,5 % запасов гумуса. Главные причины потерь пахотными почвами следующие:

1. Уменьшение количества растительных остатков, поступающих в почву, при смене естественного биоценоза агроценозом.

2. Разложение и биодegradация гумуса под влиянием физиологически кислых удобрений и активизации микрофлоры за счет вносимых удобрений.

3. Усиление минерализации органического вещества в результате интенсивной обработки и повышения степени аэрации, а также в результате осушительных мероприятий переувлажненных почв.

4. Усиление минерализации гумуса орошаемых почв в первые годы орошения. При длительном орошении и высоких урожаях сельскохозяйственных культур содержание гумуса в последующие годы стабилизируется или даже повышается.

5. Эрозионные потери гумуса, в результате которых его содержание падает до тех пор, пока не остановлена эрозия. Их размеры настолько велики, что могут существенно превышать потери за счет других причин.

Мнения исследователей о роли и функциях органического вещества в почвах при формировании урожаев неоднозначны. Связь между гумусом и урожаем пока плохо поддается математическому выражению. Сложность и неоднозначность этой связи вызваны многосторонним влиянием гумуса на свойства почв и растения. Однако бесспорным является тот факт, что при совместном внесении органических и минеральных удобрений получают более высокие урожаи сельскохозяйственных культур, чем при применении одних минеральных; а на высокогумусированных почвах значительно повышается эффективность высоких доз минеральных удобрений. Необходимость регулирования гумусового баланса почвы становится особенно актуальной при высоких урожаях и применении минеральных удобрений.

Для реального управления гумусовым состоянием почв в современных условиях надо решить три основные задачи. *Первая* – новые формы и виды органических удобрений, что позволит снять проблему их дефицита. В настоящее время основным органическим удобрением остается навоз, доля нетрадиционных материалов (отходы, лигнин и т. п.) невелика, не превышает долей процента в общей структуре органических удобрений. По данным Почвенного института им. В.В. Докучаева, ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова, ВНИПТИ органических удобрений и торфа, других научных учреждений, для создания бездефицитного баланса гумуса требуется ежегодно вносить в среднем 6,5 т/га органических удобрений в пересчете на подстилочный навоз. Однако животноводство не в состоянии удовлетворить эти потребности. Источниками новых видов органических удобрений могут стать любые органические материалы, остатки, отходы естественного (не синтетического) происхождения. Чаще всего в качестве дополнительных источников используют торф, сапрпель, бытовые и коммунальные отходы, солому. Их доля в современном балансе удобрений не превышает нескольких процентов. Вместе с тем не реализуются

возможности как органических удобрений таких крупнотоннажных отходов как кора, ветки, опилки, гидролизный лигнин, остатки хлопчатника и др. В этом качестве они могут быть использованы с высокой эффективностью после компостирования или другой соответствующей обработки.

Вторая задача – разработка агротехнических приемов сохранения и повышения запасов гумуса и его качества. Она предусматривает, прежде всего, теоретическое обоснование системы обработки почв и севооборота. Согласно кинетической теории гумификации, для достижения качества гумуса, близкого к гумусу черноземов (последний можно рассматривать в качестве эталона), необходимо соблюдение нескольких правил: пополнение запасов органического вещества в почве в количествах, несколько превышающих расход гумуса вследствие минерализации; сокращение непродуктивных потерь гумуса от минерализации и эрозии; ускорение процесса гумификации и полноты превращения вновь поступивших органических остатков в гуминовые вещества. Все это достигается с помощью обычных агротехнических приемов: минимализация обработок, внесение органических удобрений; введение травяного клина в севооборот; оптимизация реакции почв путем известкования или кислования; оптимизация минерального питания. Наибольший успех достигается при одновременном, комплексном применении мер.

Третья задача – разработка более эффективных приемов внесения и заделки органических удобрений, обеспечивающих наиболее благоприятные условия для их гумификации.

Необходимо помнить, что в различных природных зонах, на различных почвах нужен индивидуальный комплекс мероприятий, направленный на регулирование количества и состава гумуса. Поэтому в каждом конкретном случае требуется изучение условий гумусообразования в почвах, используемых в сельскохозяйственном производстве, и разработка того комплекса мероприятий, который будет наиболее эффективным в данных условиях.

6.5. Почвенные коллоиды и поглощительная способность почв

Почвенные коллоиды – наиболее активная составная часть почвы: от них зависят почти все функциональные физические свойства почвы, в них также сосредоточена большая часть питательных веществ почвы; вместе с тем это одно из более характерных соединений почвенной массы, которые отличают почву от горной породы и играют большую роль в процессе почвообразования.

С.А. Захаров, 1931

6.5.1. Почвенные коллоиды, их образование, состав и значение в плодородии почв

Почва – сложная полидисперсная система, состоящая из частиц различной величины. *Частицы почвы, имеющие диаметр меньше 0,0001–0,0002 мм, называются коллоидами.* По размерам частиц они занимают промежуточное положение между взвешьями и истинными растворами. Основу коллоидной частицы составляет ее ядро, природой которого во многом определяется поведение почвенных коллоидов (рис. 58; Горбунов Н.И., 1955). **Ядро коллоидной мицеллы** представляет собой агрегаты недиссоциированных молекул

основного вещества. Оно может иметь аморфное или кристаллическое строение. На поверхности ядра расположен внутренний слой ионов, который называют слоем **потенциалопределяющих ионов**. Они несут электрический заряд, прочно удерживаются ядром и не могут быть отдиссоциированы. Ядро мицеллы вместе со слоем потенциалопределяющих ионов называется **гранулой**. Между гранулой и раствором, окружающим коллоид, возникает термодинамический потенциал, под влиянием которого из раствора притягиваются ионы противоположного знака (компенсирующие ионы). Так, вокруг ядра коллоидной мицеллы образуется двойной электрический слой, состоящий из слоев потенциалопределяющих и компенсирующих ионов. Последние, в свою очередь, располагаются вокруг гранулы двумя слоями. Часть компенсирующих ионов, окружающая непосредственно гранулу, образует неподвижный слой, прочно удерживаемый электростатическими силами. Гранула вместе с неподвижным слоем компенсирующих ионов называется **коллоидной частицей**. Другая же часть ионов этого слоя отходит от внутреннего на значительное расстояние, образует диффузный слой и теряет связь с ионами внутреннего слоя. Поэтому между зарядами слоя потенциалопределяющих ионов и слоя компенсирующих ионов создается электрокинетический потенциал, называемый дзета-потенциалом. Как правило, свободный электрический заряд коллоидной частицы, т. е. дзета-потенциал колеблется от 0 до 40–60 мВ. Коллоидная частица вместе с диффузным слоем образует мицеллу.

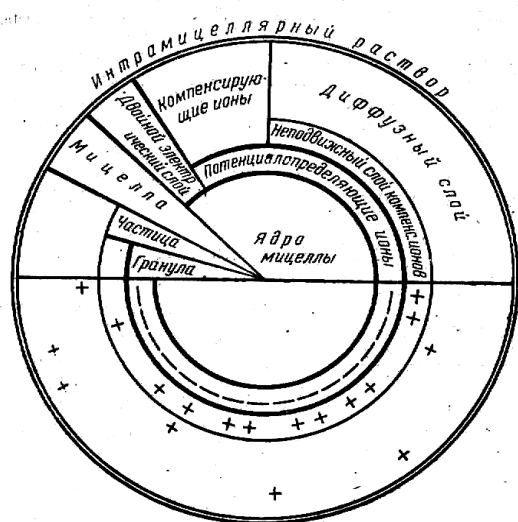


Рис. 58. Схема строения коллоидной мицеллы

Тонкий поверхностный слой почвенных частиц, в котором свойства атомов отличаются от свойств во внутреннем объеме, называют также **почвенной матрицей**. Функция почвенной матрицы состоит в организации веществ (молекулы, ионы, частицы газа) в определенном порядке (Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О., 2001).

Коллоидная мицелла электронейтральна при дзета-потенциале, равном нулю, что является изоэлектрической точкой коллоида. Основную массу коллоидной мицеллы составляет гранула, поэтому заряд последней рассматривается как заряд всего коллоида. Заряд коллоида появляется в связи с наруше-

нием равновесия между зарядами, расположенными на поверхности раздела твердая частица–раствор, а также в связи с изменением химического состава и структуры коллоидного вещества. Коллоиды, имеющие в потенциалоопределяющем слое отрицательно заряженные ионы и диссоциирующие в раствор Н–ионы, называются **ацидоидами**. К ним относятся гумусовые кислоты, глинные минералы, гидроксиды кремния и марганца и органо-минеральные коллоиды. Коллоиды, имеющие в потенциалоопределяющем слое положительно заряженные ионы и посылающие в раствор ионы OH^- , называют **базоидами**. Есть еще третья группа коллоидов, называемых **амфолитоидами**. Это такие коллоиды, которые способны менять знак заряда в двойном электрическом слое ионов в зависимости от изменения реакции среды. В качестве базоидов в кислой среде выступают гидроксиды железа и алюминия, белки, тела бактерий, которые в щелочной среде имеют свойства ацидоидов. В кислой среде, когда в растворе концентрация катионов H^+ значительно превышает концентрацию анионов OH^- , молекулы гидроксидов алюминия и железа диссоциируют как основания, посылая в окружающий раствор ионы OH^- , и приобретают положительный заряд: $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3^+ + \text{OH}^-$. При щелочной реакции, наоборот, они ведут себя как кислоты, посылая в окружающий раствор ионы H^+ , и приобретают отрицательный заряд: $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{AlO}(\text{OH})_2^- + \text{H}^+$.

Отрицательный заряд глинных минералов возникает в результате изоморфных замещений части ионов кремния внутри кремнекислородных тетраэдров на трехвалентные ионы алюминия. В алюмогидроксильных октаэдрах часть трехвалентных ионов алюминия может быть замещена на двухвалентные ионы магния. Отрицательный заряд может вызывать и наличие свободных ионов кислорода на краях слоя кремнекислородного тетраэдра, которые соединяются с одним ионом кремния, а вторая валентность при этом остается свободной для связи с ионом водорода или основанием. Возникающий отрицательный заряд компенсируется соответствующим количеством катионов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , которые могут обмениваться на катионы почвенного раствора. При этом катионы, компенсирующие отрицательный заряд, могут попадать как на поверхность, так и в межпакетные пространства кристаллической решетки глинных минералов, увеличивая тем самым их поглотительную способность. Последняя выше у монтмориллонита по сравнению с каолинитом, который, кстати, может приобретать положительный заряд в кислой среде.

Почвенные коллоиды, как и ионы растворимых веществ, могут гидратироваться, удерживая вокруг себя слои ориентированных молекул воды. Эта водная оболочка предохраняет коллоиды от слипания и придает устойчивость их растворам. По количеству воды, удерживаемой коллоидами, они разделяются на гидрофильные и гидрофобные. **Гидрофильными** называются такие коллоиды, которые способны притягивать на свою поверхность молекулы воды, образуя многослойную гидратную пленку. К ним относятся некоторые органические вещества, встречающиеся в почвах, и минералы монтмориллонитовой группы. **Гидрофобными** называются такие коллоиды, ядра которых не имеют сродства с молекулами воды, в силу чего могут удерживать лишь небольшие ее количества. Это – гидроксид железа и минералы каолинитовой группы. Почвенные коллоиды могут находиться в двух состояниях: в состоянии коллоидного раствора или **золя** и в состоянии осадка или **геля**. Коллоидные частицы из состояния золя могут переходить в гель. *Переход коллоидов из раствора в осадок называется коагуляцией, а из осадка в рас-*

твор – пептизацией. Коагуляция коллоидов происходит при их высушивании, замораживании и при действии электролитов. В этих случаях коллоиды теряют водную оболочку или электрический заряд и, слипаясь между собой, выпадают в осадок. Коагулирующая способность электролитов зависит от массы и валентности иона: чем выше валентность и чем больше масса в пределах одной валентности, тем выше его коагулирующее действие. По К.К. Гедройцу, коагулирующая способность катионов располагается в следующий ряд: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{K}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Ba}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Fe}^{3+}$, а анионов – в ряд: $\text{Cl}^- < \text{NO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{PO}_4^{3-}$. Исключения составляет катион H^+ , который стоит между ионами Mg^{2+} и Ca^{2+} , обладая наименьшей атомной массой. Это объясняется тем, что коагулирующая способность ионов зависит от степени гидратации или сольватации ионов. Каждый ион окружен диполями воды, и чем больше водная пленка, тем меньше его коагулирующая способность, так как сильно гидратированный ион не может достаточно близко подойти к частице. Если степень гидратации катиона Ca^{2+} принять за 100, то по относительной степени гидратации ионы других элементов расположатся в следующий ряд: Mg – 101, K – 178, N – 452, Li – 552. Ион водорода характеризуется малой степенью гидратации, присоединяет только одну молекулу воды, образуя гидроксоний (H_3O^+), чем и объясняются его хорошие коагулирующие свойства и энергичное поглощение. Постоянного места в ряду поглощения ион H^+ не имеет, так как его поглощение зависит от состава твердой фазы почвы (Горбылева А.И., 2002). Пептизация коллоидов наблюдается при насыщении их натрием и другими одновалентными катионами и связана с изменением электрокинетического потенциала коллоидов.

Коагуляция способствует закреплению в почве коллоидной фракции, а пептизация, наоборот, ее вымыванию вниз по профилю, а, следовательно, ухудшению физико-химических свойств почвы.

Особым видом коагуляции является тиксотропия: когда масса геля неотделима от золя, образуется студень, который можно превратить в состояние золя при механическом воздействии. Тиксотропия распространена в почвах, образующихся под воздействием вечной мерзлоты.

По своему составу коллоидные частицы могут быть минеральными, органическими и органо-минеральными. **Минеральные коллоиды** образуются в процессе выветривания горных пород. Они представлены преимущественно вторичными минералами (бейделлит, вермикулит, галлуазит, иллит, каолинит, монтмориллонит, нонтронит), гидроксидами железа $[\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, алюминия $[\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, кремния $[\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, марганца $[\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ и частично тонкодисперсной фракцией первичных минералов (кварц, слюда). **Органические коллоиды** почвы представлены преимущественно веществами гумусовой и белковой природы. Кроме того, здесь могут быть полисахариды и другие соединения, находящиеся в коллоидно-дисперсном состоянии. **Органо-минеральные коллоиды** возникают при взаимодействии гумусовых веществ со вторичными минералами.

Коллоиды фильтруются через бумажные фильтры и не проходят через органические фильтры, не диффундируют и не диализируют, видимы в ультрамикроскоп, с водой образуют коллоидные растворы. Кроме того, коллоидам свойственно броуновское движение – непрерывное самопроизвольное хаотическое перемещение частиц в воде, которое возникает в результате суммирования ударов о коллоидные частицы движущихся молекул дисперсной среды.

Броуновское движение препятствует всплыванию или осаждению частиц дисперсной фазы. Коллоиды, не растворяясь, способны вступать в химические реакции с молекулами или ионами поверхностного слоя, с соединениями соприкасающихся растворов. При взаимодействии веществ электрически нейтральных и присоединении к ним заряженных ионов коллоиды приобретают соответствующий заряд.

Коллоиды возникают двумя путями: *диспергацией*, т. е. раздроблением минеральных обломков до размеров коллоидных частиц, и *конденсацией*, т. е. за счет укрупнения молекул. Последняя осуществляется благодаря реакциям поликонденсации и полимеризации низкомолекулярных соединений. Количество коллоидов в почвах колеблется в широких пределах (от 3–4 до 30–40 % к массе почвы) и зависит от содержания гумуса и гранулометрического состава: чем более гумусирована почва и тяжелее ее гранулометрический состав, тем больше в ней коллоидов, и наоборот. На их содержание большое влияние оказывает также характер почвообразовательного процесса: подзолообразование приводит к разрушению коллоидов в верхней части профиля и выносу их в нижние горизонты; при дерновом же процессе, наоборот, в верхней части профиля происходит образование и накопление коллоидных частиц.

Коллоиды являются главными носителями сорбционных свойств почвы. Причиной этого является то, что почвенные коллоиды даже при небольшом содержании представляют основную долю общей поверхности твердой фазы почвы (табл. 35; Фокин А.Д., 1989).

Таблица 35 – Роль частиц различного размера в формировании общей поверхности среднесуглинистой почвы

Размер частиц, мм	Содержание, % к массе	Поверхность, м ² /г почвы	Доля общей поверхности, %
0,25–0,05	17	0,5	0,2
0,05–0,01	50	4,1	1,7
0,01–0,005	20	9,9	4,1
0,005–0,001	6	12,7	5,2
0,001–0,0001	3	18,8	7,8
< 0,0001	4	194,0	81,0
Сумма	100	240,0	100

Так, например, если собрать коллоидные частички в сосуд объемом всего 1 см³, то суммарная поверхность их будет колебаться от 6000 до 10000 м², т. е. равна почти 1 га. С увеличением суммарной поверхности растет суммарная поверхностная энергия и возрастает химическая активность коллоидов. Удельная поверхность больше в суглинистых почвах, чем в песках и супесях, и выше в гумусовом горизонте, чем в нижележащих. Удельная поверхность коллоидов в гумусовых горизонтах суглинистых дерново-подзолистых почв составляет 29 м²/г, серых лесных – 33 и черноземах – 48 м²/г. Кроме того, физико-химическая природа поверхностей почвенных коллоидов благоприятствует протеканию на них сорбционных процессов. Способность к диссоциации и связанная с этим химическая активность обеспечивают участие коллоидов во всех физико-химических процессах, обуславливая постоянное присутствие в почвенных растворах элементов минерального питания и одно из важнейших свойств почв – поглотительную способность.

6.5.2. Поглощительная способность почв

Если через почву пропустить раствор некоторых веществ, то они будут удерживаться в ней. Эта способность удерживать вещества из раствора была известна более двух тысяч лет назад. Так, в трудах Аристотеля (384–322 гг. до н.э.) есть указания, что морская вода после соприкосновения с почвой утрачивает соленость и становится пригодной для питья.

В изучении поглощительной способности почв большую роль сыграли исследования Д.Т. Уэя, опубликованные в 1850–1854 гг. Он сформулировал основные закономерности поглощительной способности почв, сохранившие значение до наших дней. Огромный вклад в изучение этого явления внес К.К. Гедройц. Итоги многолетних исследований, начатых им в 1908 г., были обобщены в монографии "Учение о поглощительной способности почв", опубликованной в 1922 г. и затем многократно переиздававшейся. Изучение поглощительной способности почв им тесно увязывалось с разработкой теоретических и практических вопросов применения удобрений, питания растений и химической мелиорации почв.

В дальнейшем многие ученые значительно расширили и углубили знания о поглощительной способности почв. На Кубани такие работы выполнил А.А. Шмук. Однако основы учения К.К. Гедройца не устарели и в настоящее время.

По одному из определений, *поглощительная способность почвы – это ее способность поглощать ионы и молекулы различных веществ из раствора и удерживать их.*

Поглощительная способность регулирует питательный режим почвы, реакцию почвы, ее буферность, водно-физические свойства.

К.К. Гедройц выделил 5 видов поглощительной способности: биологическую, механическую, физическую, химическую и физико-химическую (обменную). Он отмечал также и необменное поглощение катионов. Последующие исследования в нашей стране и за рубежом позволяют выделить обменное поглощение в отдельный, 6-й вид поглощительной способности почв.

Биологическая поглощительная способность – это поглощение растениями и почвенной микрофлорой элементов питания из почвы. Вследствие этого они предохраняются от вымывания из почвы.

Как отмечал К.К. Гедройц, благодаря биологическому поглощению происходит накопление элементов питания в верхних горизонтах почвы и до определенной степени создается необходимое соотношение между этими элементами.

Особенностью биологического поглощения является его **избирательность**, заключающаяся в том, что растения и микроорганизмы усваивают из почвы те элементы, которые необходимы им для жизнедеятельности. Микроорганизмы используют те же химические элементы, что и высшие растения – N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mo, Zn, Mn и другие. В этом отношении они составляют конкуренцию культурным растениям за минеральные соединения, прежде всего азот почвы и удобрений.

Исследования показали, что в органической форме в почве закрепляется 10–20 % азота нитратных и 20–40 % азота аммонийных удобрений. Особенно важно биологическое поглощение для нитратов, так как это практически единственный вид поглощения, которому они подвергаются. Нитраты, не усвоенные растениями, удерживаются в основном благодаря их потреблению микроорганизмами.

Иммобилизация элементов минерального питания за счет биологического поглощения относительно непродолжительна и определяется жизненным

циклом микроорганизмов. Впоследствии они высвобождаются в результате минерализации микробной плазмы и могут быть использованы растениями или следующей генерацией микроорганизмов.

В том случае, если в почве находится большое количество органических веществ, служащих для последних источником энергии, то происходит усиленное развитие микрофлоры, а потребленный ею азот надолго становится недоступным растениям. Это нужно учитывать при использовании удобрений. Например, не рекомендуется вносить солоmistый навоз, содержащий большое количество клетчатки и других безазотистых веществ, вызывающих размножение целлюлозоразлагающих бактерий, которые усиленно поглощают минеральные соединения азота из почвы. А при удобрении соломой необходимо вносить минеральные азотные удобрения из расчета 7–10 кг на 1 т соломы.

То же самое происходит и при внесении только фосфорных удобрений. Поглощая фосфор в определенных соотношениях с азотом, микроорганизмы используют больше минерального азота из почвы, чем без фосфорных удобрений. В результате культурные растения оказываются в условиях недостатка азота. Таким образом, знания о биологической поглотительной способности дают возможность регулировать питательный режим почвы и повышать эффективность удобрений.

Механическая поглотительная способность. *Способность почвы механически удерживать твердые частицы из фильтрующихся через почву суспензий и коллоидных растворов, содержащих значительное количество питательных веществ, называется механической поглотительной способностью.*

Почва представляет собой пористое тело. В почвенном растворе, кроме молекулярно растворенных веществ, содержатся во взвешенном состоянии коллоидные и близкие к ним по размеру частицы. При прохождении раствора через поры диаметром меньше взвешенных частиц последние будут задержаны почвой. Так, при прохождении через почву мутной воды она становится почти прозрачной. Механическая поглотительная способность почвы обуславливает сохранение в почве наиболее ценной коллоидной фракции. Наибольшим поглощением обладают почвы тяжелые по гранулометрическому составу – глинистые и суглинистые, наименьшим – легкие, супесчаные и песчаные.

Некоторые удобрения, выпускаемые в виде тонко размолотых частиц, не вымываются из почвы вследствие механического поглощения.

Физическая поглотительная способность. *Способность почвы удерживать на поверхности твердой фазы молекулы минеральных и органических веществ за счет адсорбции называется физической поглотительной способностью.* Этот вид поглощения называют также молекулярной сорбцией. Он обусловлен наличием на поверхности коллоидных частиц сил притяжения. Выявлена положительная и отрицательная молекулярная адсорбция.

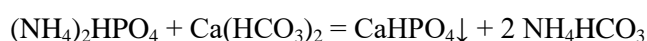
При **положительной** молекулярной адсорбции молекулы растворенных веществ притягиваются сильнее, чем молекулы воды. Около поверхности частиц в слое раствора, прилегающего к ним, создается большая концентрация, чем на некотором расстоянии. Так происходит поглощение органических кислот, высокомолекулярных органических соединений.

При **отрицательной** молекулярной адсорбции молекулы воды притягиваются сильнее, чем молекулы, растворенных веществ. У поверхности раздела твердой и жидкой фаз создается пониженная концентрация, а на удалении от твердых частиц – повышенная. Например, если сухую почву промывать раствором нитрата, то в фильтрате концентрация его не только не снизится, а

даже возрастет. Это происходит вследствие того, что почва сильнее адсорбирует воду, а одно и то же количество нитрата будет содержаться в меньшем количестве фильтрата.

Отрицательная молекулярная адсорбция наиболее сильно проявляется при взаимодействии с почвой растворов нитратов и хлоридов, подвижность которых вследствие взаимодействия возрастает. Они легко передвигаются в ней вместе с почвенным раствором. При повышенной влажности почвы (не занятой растениями) возможно вымывание нитратов и хлоридов в нижележащие слои и в грунтовые воды. Это необходимо учитывать при определении сроков внесения удобрений.

Химическая поглощительная способность. *Способность почвы удерживать некоторые ионы путем образования в результате химических реакций из растворимых соединений нерастворимые или труднорастворимые в воде соединения, называется химической поглощительной способностью.* Например:



Химическое поглощение ионов зависит от их способности образовывать труднорастворимые соли.

Анионы азотной и хлористоводородной кислот (NO_3^- , Cl^-) не образуют с катионами почвы (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+}) труднорастворимые соли, то есть химически не поглощаются. С этим связана высокая подвижность нитратов и хлоридов в почве.

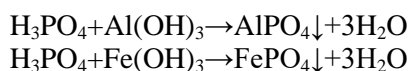
Анионы угольной и серной кислот (CO_3^{2-} , SO_4^{2-}) с одновалентными катионами дают растворимые соли, с двухвалентными – труднорастворимые.

Анионы ортофосфорной кислоты (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) образуют с одновалентными катионами растворимые соли (KH_2PO_4 , Na_2HPO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и другие). Их соединения с двухвалентными катионами различаются по этому показателю: дигидрофосфаты, например $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, хорошо растворимы в воде, гидрофосфаты (CaHPO_4) – слабо, фосфаты ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) – труднорастворимы. Фосфаты алюминия и трехвалентного железа также труднорастворимы (AlPO_4 , FePO_4).

Следует учитывать, что при химическом поглощении поглощаются и катионы. Образование малорастворимых соединений резко ухудшает доступность фосфора почвы растениям. Такие же процессы протекают и с фосфорными удобрениями. При подкислении почвенного раствора труднорастворимые фосфаты кальция могут повышать свою подвижность и использоваться растениями. Например, фосфат кальция при взаимодействии с азотной кислотой, образующейся при нитрификации, переходит в дигидрофосфат кальция, растворимый в воде:

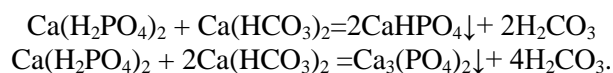


В кислых дерново-подзолистых почвах, красноземах, бурых лесных и других, содержащих значительное количество гидроксидов алюминия и железа, в результате химического поглощения образуются фосфаты алюминия и железа:



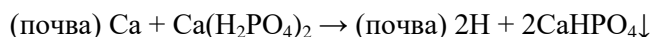
Свежеосажденные фосфаты алюминия и железа могут усваиваться растениями, но постепенно они уплотняются, кристаллизуются и становятся менее доступными растениям, особенно фосфаты железа. Поэтому фосфор в кислых дерново-подзолистых почвах закрепляется сильнее, чем в черноземах.

В почвах с нейтральной или слабощелочной реакцией химическое поглощение фосфора происходит в результате реакций с гидрокарбонатом кальция:



Гидрофосфат кальция хорошо растворяется в слабых кислотах и поэтому усваивается растениями. Свежеосажденный фосфат кальция менее растворим, но вследствие кислых корневых выделений частично используется растениями. Однако постепенно осадок уплотняется, кристаллизуется и становится недоступным.

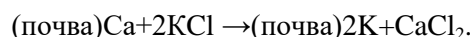
Водорастворимые соли ортофосфорной кислоты могут химически поглощаться при взаимодействии их с обменно-поглощенным кальцием*:



Химическое поглощение влияет на состав почвенного раствора и его концентрацию. Образование малорастворимых соединений вызывает уменьшение последней.

Таким образом, химическое поглощение фосфора обуславливает слабую подвижность фосфатов в почве и снижает доступность для растений фосфора из удобрений. По возрастающей интенсивности поглощения доступного для растений фосфора почвы располагаются в следующей последовательности: черноземы < сероземы < дерново-подзолистые < красноземы.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность. *Способность почвы поглощать из раствора различные катионы и анионы, выделяя при этом в раствор эквивалентные количества катионов или анионов, ранее поглощенных твердой фазой почвы, называется физико-химической, или обменной поглотительной способностью.* Например, если почву, насыщенную кальцием, обработать раствором хлорида калия, то катионы калия поглотятся почвой и одновременно в раствор перейдет эквивалентное количество катионов кальция, а в растворе вместо KCl появится CaCl₂:



По своей сущности это поглощение обусловлено физическими процессами на поверхности мелкодисперсных частиц и химическими явлениями в растворе. Поэтому его называют физико-химической поглотительной способностью. Так как в данном случае происходит обмен катионов (или анионов), этот вид поглощения называют еще **обменным**. Наиболее изучено обменное поглощение катионов.

Обменное поглощение играет существенную роль в почвенных процессах, определяет физические и физико-химические свойства почв: структурное состояние, реакцию, буферность, имеет особенно важное значение при взаимодействии почвы с удобрениями.

В почвах содержатся обменно-поглощенные катионы Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, H⁺, Na⁺, K⁺, Al³⁺. При внесении водорастворимых удобрений происходит обменное поглощение их катионов с ранее поглощенными катионами почвы. При обменном поглощении концентрация раствора не изменяется (в эквивалентном отношении), но изменяется его состав. Обменно-поглощенные ионы остаются доступными для питания растений и являются резервом питательных веществ для них.

Реакция обмена между катионами обменно-поглощенными, с одной стороны, и почвенного раствора, с другой, протекает в эквивалентных количествах и является обратимой.

* См. обменную поглотительную способность почвы.

Обменная реакция зависит от состава и концентрации раствора, его объема, природы обменивающихся катионов и свойств почвы. Чем больше атомная масса и заряд катиона, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из почвы другими катионами.

Поглощение происходит в течение относительно непродолжительного периода и завершается при установлении динамического равновесия. При увлажнении и высушивании почвы, внесении удобрений, образовании минеральных солей, разложении органического вещества это равновесие смещается – одни катионы переходят из раствора в поглощенное состояние, а другие из поглощенного состояния – в почвенный раствор. Так, при внесении в почву растворимых солей (NH_4NO_3 , KCl) концентрация почвенного раствора повышается, катионы солей вступают в обменную реакцию и часть их поглощается. При потреблении какого-либо катиона растениями, концентрация его в растворе снижается, однако, со временем она может восстановиться за счет перехода одноименного иона из поглощенного состояния в обмен на другие катионы почвенного раствора.

В сильнокислых дерново-подзолистых почвах и красноземах проявляется **обменное поглощение анионов**. Оно происходит в обмен на ионы OH^- , которые при кислой реакции отщепляются от поверхности коллоидных частиц. В почвах, имеющих слабокислую, нейтральную или щелочную реакцию, обменное поглощение анионов проявляется очень слабо или отсутствует. Анионы NO_3^- и Cl^- почвой практически не поглощаются. Это возможно лишь при наличии очень кислой реакции среды, например, в красноземах. В этих почвах, а также желтоземах наблюдается поглощение иона SO_4^{2-} . Анионы ортофосфорной кислоты поглощаются в дерново-подзолистых почвах и частично в черноземах. Как правило, такие анионы доступны растениям.

Необменное поглощение катионов. *Под этим понимается поглощение почвой катионов, не сопровождающееся выделением в почвенный раствор эквивалентных количеств других катионов.* Необменные катионы не вытесняются катионами нейтральных солей.

Способностью к фиксации катионов обладают трехслойные глинные минералы с разбухающей решеткой – минералы группы гидрослюды и монтмориллонита. Считается, что катионы проникают в межпакетное пространство, когда оно имеет наибольшие размеры, то есть в состоянии набухания, и в результате оказываются в замкнутых пространствах.

Необменному поглощению, или фиксации, могут подвергаться все почвенные катионы, но наиболее выражена фиксация K^+ и NH_4^+ ; могут также фиксироваться Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ .

В черноземах необменное поглощение NH_4^+ и K^+ сильнее, чем в дерново-подзолистых почвах. Более тяжелые по гранулометрическому составу почвы способны больше поглощать катионов. Исследования показали, что высушивание почвы, а особенно многократное высушивание и увлажнение, способствуют необменному поглощению катионов. Но поглощение происходит и во влажном состоянии.

Фиксированные катионы меньше других поглощенных катионов доступны растениям, поэтому явление фиксации неблагоприятно для питания растений. Необменный калий является резервом питания растений. Фиксированный аммоний* может быть частично использованным растением.

* Аммоний фиксированный – аммоний, поглощенный кристаллической решеткой глинных минералов почвы, который не способен замещаться катионами, сжимающими решетку (K^+ , Rb^+ , Cs^+), но замещаться катионами, вызывающими ее разбухание (Na^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}).

При внесении в почву аммонийных и калийных удобрений может происходить в определенных размерах закрепление NH_4^+ и K^+ . Чем выше концентрация аммонийной соли в очагах внесения и чем большему высыханию подвергается почва, тем больше закрепление. Необменный аммоний в почве не нитрифицируется. Необменное поглощение возрастает при неглубокой заделке аммонийных и калийных солей, когда они попадают в слой почвы, подверженный попеременному увлажнению и высушиванию.

Необменно-поглощенные почвой аммоний и калий медленнее освобождаются в доступной растениям форме, чем обменно-поглощенные.

6.6. Почвенный поглощающий комплекс, емкость обмена и состав обменных катионов в почвах

Материальная часть почвенных коллоидов, образовавшаяся из продуктов выветривания горных пород главным образом состоит из гидроксидов кремния, алюминия и железа, находящихся в различных сочетаниях со щелочноземельными основаниями.

С. Маттсон, 1938

6.6.1. Почвенный поглощающий комплекс

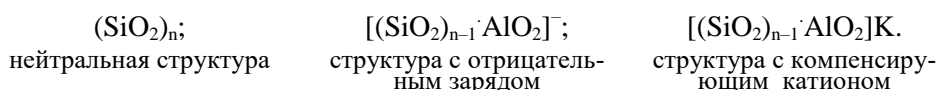
Обменной поглотительной способностью в почве обладают различные коллоидные ($< 0,0001$ мм) и в меньшей степени илистые ($< 0,001$ мм) почвенные частицы.

*Совокупность минеральных, органических и органо-минеральных частиц твердой фазы почвы, преимущественно $< 0,001$ мм, обладающих физико-химической поглотительной способностью, называют **почвенным поглощающим комплексом**.*

Как уже отмечалось, почвенные коллоиды подразделяют на минеральные, органические и органо-минеральные.

В состав **минеральных коллоидов**, способных к обменному поглощению, входят кристаллические и аморфные соединения. Кристаллические соединения – это глинные минералы монтмориллонитовой, каолинитовой группы и группы гидрослюды. Аморфные соединения представлены гидроксидами алюминия и железа, кремниевой кислотой.

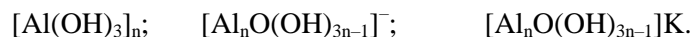
Способность минералов глин к обменному поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. Аморфные соединения гидроксидов алюминия и железа в зависимости от реакции почвенного раствора могут иметь отрицательный или положительный заряд. Возникновение отрицательного заряда у глинных минералов связано с изоморфными замещениями в кремнекислородных тетраэдрах и алюмогидроксидных октаэдрах, из которых построена их кристаллическая решетка. Например, в кремнекислородных тетраэдрах ион кремния может быть изоморфно замещен ионом алюминия. Так как кремний четырехвалентный, а алюминий трехвалентный, возникает отрицательный заряд, который может быть компенсирован катионом, например, калия:



Отрицательные заряды могут компенсироваться соответствующим количеством K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и другими катионами. Эти катионы способны к диссоциации и эквивалентному обмену на любые катионы почвенного раствора.

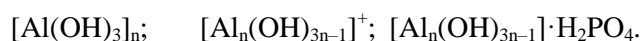
Аморфные коллоиды гидроксидов алюминия и железа обладают амфотерными свойствами: в зависимости от реакции почвенного раствора могут приобретать отрицательный или положительный заряд, то есть могут вести себя то как кислоты, то как основания.

При щелочной реакции (для алюминия при $pH > 8,1$, железа – $pH > 7,1$) амфотерные коллоиды ведут себя как кислоты, посылая в окружающий раствор ионы H^+ и приобретая отрицательный заряд:



В этом случае поглощение происходит так же, как у кристаллических коллоидов.

При кислой реакции молекулы гидроксидов алюминия и железа диссоциируют как основания, выделяя в окружающий раствор ионы OH^- и приобретая положительный заряд, который компенсируется каким-либо анионом:



Так происходит поглощение анионов. Эти анионы способны обмениваться на другие анионы почвенного раствора. Так же ведут себя гидроксиды железа. Положительный заряд при кислой реакции также могут приобретать глинные минералы каолиновой группы.

У *органических коллоидов* (гумусовые вещества почвы) отрицательный заряд и способность к обмену катионов обусловлены карбоксильными группами ($COOH$), которые придают кислотные свойства:

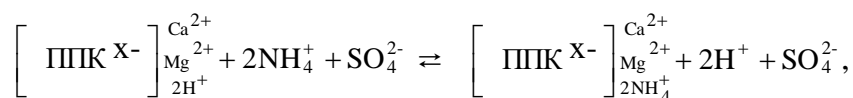


где R – основная часть органического вещества.

Водород гидроксильных групп (OH) гумусовых соединений также может быть замещен другими катионами, но только при сильно щелочной реакции.

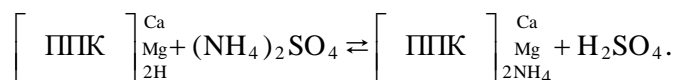
Органо-минеральные коллоиды ведут себя как кислоты, посылая в окружающий раствор ион H^+ и приобретая отрицательный заряд, который компенсируется каким-либо катионом.

Схематически процесс взаимодействия между почвенным поглощающим комплексом и почвенным раствором, а также при внесении удобрений, выглядит так:



где: $\left[\begin{array}{c} \text{ППК } X^- \\ \text{Ca}^{2+} \\ \text{Mg}^{2+} \\ 2H^+ \end{array} \right]$ – почвенный поглощающий комплекс и поглощенные катионы.

В более простом виде схема выглядит следующим образом (используется в дальнейшем изложении):



Из схемы видно, что при взаимодействии сульфата аммония с почвенным поглощающим комплексом, содержащим значительное количество водорода, в результате обменной реакции в почвенном растворе появилась серная кислота. Она подкисляет этот раствор.

В схемах обменного поглощения катионов почвенным поглощающим комплексом не показано количественное соотношение поглощенных катионов. Эти схемы используются для пояснения процессов превращения соединений элементов питания в почве.

6.6.2. Емкость катионного обмена и состав обменных катионов

Максимальное количество катионов, которое может быть удержано почвой в обменном состоянии, называют **емкостью катионного обмена**.

Величина емкости обмена характеризует обменную поглотительную способность почвы. Обычно имеется в виду емкость обмена катионов (емкость обмена анионов определяют редко). Выражают ее в миллимоль эквивалентов на 1 кг почвы (ммоль-эк/кг).

Емкость обмена катионов зависит от гранулометрического состава почвы, содержания мелкодисперсной фракции и ее состава. Чем больше в почве минеральных коллоидных и илистых частиц, тем выше емкость поглощения. Почвы глинистые и суглинистые (с высоким содержанием мелкодисперсных частиц) имеют более высокую емкость поглощения, чем почвы супесчаные и песчаные.

Емкость обмена зависит и от минералогического состава почвенных коллоидов. Чем больше минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд, тем выше емкость поглощения. При высоком содержании минералов группы каолинита, а также гидроксидов алюминия и железа она меньше.

Величина емкости обмена зависит также от содержания гумуса в почве. Поэтому в черноземах она выше, чем в дерново-подзолистых почвах. При кислой реакции уменьшается отрицательный заряд коллоидов и емкость обмена катионов снижается. Эти особенности у разных типов почв хорошо видны из данных Н.П. Ремезова, представленных в таблице 36.

Таблица 36 – Содержание обменных катионов в разных почвах, ммоль-эк/кг

Почва	Глубина взятия образца, см	Ca	Mg	H, Al	Na	Емкость обмена катионов
Краснозем	0–14	20	40	110	–	170
	14–40	10	10	80	–	100
Дерново-подзолистая	0–14	50	20	70	–	140
	20–30	30	20	50	–	100
Серая лесная	0–10	140	20	40	–	200
	20–30	150	20	30	–	200
Чернозем мощный	0–10	500	100	50	–	650
	20–30	390	100	10	–	500
Солонец столбчатый	1–6	100	40	–	20	160
	9–14	90	150	–	90	330

Высокая емкость катионного обмена в черноземах обусловлена повышенным содержанием минеральных и органических коллоидов, преобладанием среди первых минералов монтмориллонитовой группы, а также нейтральной или слабощелочной реакцией.

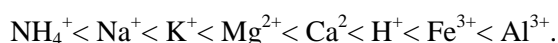
В дерново-подзолистых почвах емкость катионного обмена значительно ниже из-за малого содержания органического вещества, повышенного содержания свободных гидроксидов алюминия и железа и кислой реакции.

Наименьшая она у супесчаных и песчаных почв, в которых вообще мало коллоидов. Такие почвы имеют и самое низкое плодородие.

Неодинаковый в почвах и *состав обменных катионов*. В большинстве почв преобладают катионы кальция и магния. В черноземах их 80–90 % емкости обмена. Катионов водорода и алюминия мало. В красноземах и дерново-подзолистых почвах, напротив, до 50 % и более емкости обмена составляют катионы водорода и алюминия. В солонцах и солончаках много поглощенного натрия.

От состава обменных катионов зависит состав почвенного раствора. Если почва содержит в поглощенном состоянии много кальция, то при внесении растворимых удобрений (например, NH_4NO_3 , KCl) в почвенный раствор будет вытесняться преимущественно кальций. Если в поглощенном состоянии находится много ионов водорода и алюминия, то при внесении таких удобрений в почвенный раствор будут вытесняться эти ионы, и он будет подкисляться.

Состав обменных катионов влияет на физико-химические и физико-механические свойства почвы. Катионы коагулируют почвенные коллоиды, причем, тем сильнее, чем выше их валентность (исключение составляет ион водорода):



С повышением кислотности коагулирующее действие катионов возрастает, при щелочной реакции ослабевает. Если в составе обменных катионов преобладает кальций, то почвенные коллоиды находятся в коагулированном состоянии, что создает хорошую структуру почвы. Высокое содержание натрия приводит к диспергированию почвенных коллоидов. В результате уменьшается водопрочность агрегатов, ухудшаются физические свойства, водный и воздушный режимы почвы.

При вытеснении натрия из почвенного поглощающего комплекса в раствор образуется гидрокарбонат натрия, который обуславливает щелочную реакцию почвенного раствора, неблагоприятную для роста растений.

Поглощенный ион водорода вызывает постепенное разрушение минералов почвенного поглощающего комплекса. В результате ухудшается структура, уменьшается емкость обмена. При вытеснении ионов водорода и алюминия в раствор увеличивается его кислотность, что также неблагоприятно для растений.

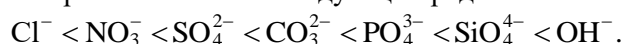
Состав и соотношение обменных катионов регулируются внесением мелиорантов: в кислые дерново-подзолистые почвы вносят известь; в солонцовые почвы – гипс.

6.6.3. Поглощение анионов почвой

Поглощение катионов в почвах происходит при биологическом, химическом и обменном поглощении. Эти процессы были описаны при изложении видов поглощательной способности почвы. Ниже рассмотрим поглощение анионов почвой.

Поглощение анионов почвами зависит от заряда коллоида, строения и химических свойств почвенного поглощающего комплекса, реакции среды и природы аниона. В сильнокислых дерново-подзолистых почвах и красноземах возможно поглощение анионов, обусловленное проявлением базоидных свойств почвенных коллоидов. Поглощение анионов может наблюдаться как на положительно заряженных коллоидных частицах (коллоидах гидратов полуторных оксидов), так и на положительно заряженных участках отрицательно заряженных коллоидов (у минералов каолининовой группы, коллоидов белковой природы). В обоих случаях поглощение анионов происходит в обмен на ионы OH^- , которые при кислой реакции отщепляются от молекул,

расположенных на поверхности коллоидной частицы. По способности к поглощению анионы располагаются в следующий ряд:



Чем больше валентность аниона, тем больше его способность адсорбироваться на поверхности коллоидов. Исключение составляет лишь анион OH^- , обладающий наибольшей активностью, несмотря на малую валентность. Это можно объяснить тем, что с увеличением валентности аниона уменьшается диссоциация соединения, образующего двойной слой, а реакция идет в сторону образования наименее диссоциированных соединений. Очень слабо диссоциируют и соединения, которые образует анион OH^- с катионами Al^{3+} и Fe^{3+} , стоящими во внутренней обкладке двойного слоя положительно заряженных коллоидов.

Анионы NO_3^- и Cl^- не образуют нерастворимых соединений ни с одним из встречающихся в почве катионов, для них характерна отрицательная физическая сорбция. Отрицательная сорбция этих анионов обусловлена снижением их концентрации во внутренней части сорбционной пленки, за счет чего концентрация анионов в более рыхло связанных, а следовательно, и в более подвижных слоях водной пленки возрастает. Отрицательная адсорбция нитратов усиливает процессы вымывания их из почвы, что приводит к обеднению почв азотом. Удаление хлора из почвы – положительный момент, так как для большинства культурных растений он вреден, но вместе с ним вымывается сопутствующий катион (аммоний, калий, кальций), потеря которого нежелательна. Закрепление этих анионов обязано биологической поглотительной способности почвы.

В сельскохозяйственной практике с отсутствием поглощения анионов NO_3^- и Cl^- необходимо считаться. Так, нитратные формы азотных удобрений вносят непосредственно перед посевом или в подкормки в период вегетации растений, чтобы предотвратить их вымывание из корнеобитаемого слоя почвы. Хлорсодержащие калийные удобрения, наоборот, вносят в почву заблаговременно, чтобы ион Cl^- до посева успел вымыться осадками.

В поглощении анионов большую роль играют процессы солеобразования. Анионы SO_4^{2-} и CO_3^{2-} со всеми встречающимися в почве катионами образуют легкорастворимые соли, кроме кальция. При их взаимодействии происходит химическое поглощение этих анионов и кальция, сопровождающееся образованием слабо растворимых солей CaSO_4 и CaCO_3 , переходящих в твердую фазу почвы.

Механизм поглощения фосфат-ионов разнообразен. Различают следующие виды поглощения почвой фосфат-ионов:

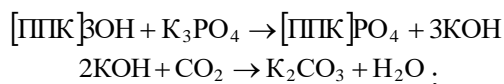
1) образование малорастворимых фосфатов в результате взаимодействия внесенных в почву растворимых фосфатов с солями почвенного раствора (химическое поглощение). Такой вид поглощения фосфат-анионов возможен при наличии в почве ионов алюминия, железа, кальция при нейтральной или щелочной реакции среды;

2) образование слабо растворимых фосфатов с катионами почвенного поглощающего комплекса (с кальцием, магнием) после вытеснения их катионами почвенного раствора;

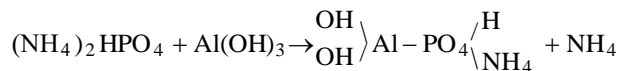
3) поглощение фосфат-ионов при взаимодействии их с минералами-солями: гипсом, доломитом, кальцитом. Часть фосфат-иона связывается непосредственно с кальцием, перешедшим в раствор. Не исключено поглощение фосфат-иона на поверхности минералов без вытеснения кальция, частичное окклюдование фосфата в минерале;

4) механический захват фосфат-ионов аморфным кремнеземом – процесс окклюдования;

5) обменная сорбция фосфат-ионов на положительно заряженных участках коллоидной мицеллы:



6) хемосорбция фосфат-ионов гидроксидами алюминия и железа. Связь осуществляется с твердой фазой на внешней поверхности коллоида. Одна из схем реакций:



При этом поглощение фосфат-ионов в значительной степени зависит от дисперсности. Свежеосажденные оксиды поглощают фосфаты в большем количестве. При кристаллизации полуторных оксидов поглощение фосфатов уменьшается в 10 раз;

7) необменное поглощение фосфат-ионов глинистыми и неглинистыми алюмо- и ферросиликатными минералами на их внешней и реже внутренней поверхности. При этом фосфат-ион адсорбируется в потенциалопределяющем слое отрицательных коллоидов, притягиваясь к алюминию кристаллической решетки.

Органические вещества, насыщенные основаниями, также поглощают фосфат-ионы, но значительно меньше, чем полуторные оксиды и глинистые минералы.

Таким образом, фосфатный режим в почве характеризуется наличием соединений разной степени доступности для растений. Особенно мало доступных соединений фосфора при кислой реакции среды, малом содержании органического вещества и высоком содержании полуторных оксидов. Снижение доступности приводит к накоплению поглощенного фосфора в почвах, который со временем под воздействием почвенных микроорганизмов может снова переходить в доступную для растений форму.

6.7. Кислотность и щелочность почвы

Среди изменений, которые испытывает почва вследствие замены оснований или катионов, содержащихся в ее цеолитных силикатах и гуматах, прежде всего бросается в глаза изменение ее реакции.

Г. Каппен, 1934

Условия роста растений во многом зависят от реакции почвы. Интенсивность микробиологических процессов, минерализация органических веществ, растворение труднорастворимых соединений, различные физико-химические процессы также в значительной степени определяются реакцией почвы. Она влияет на эффективность удобрений, которые, в свою очередь, могут подкислять или подщелачивать почвенный раствор.

Реакция почвы проявляется при взаимодействии катионов почвенного раствора с обменнопоглощенными катионами твердой фазы почвы. В зависимости от реакции почвенного раствора почвы могут быть кислыми или щелочными.

6.7.1. Кислотность почвы

Кислотность почвы – свойство почвы, обусловленное наличием ионов водорода в почвенном растворе и обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе. Различают актуальную и потенциальную кислотность. Последняя подразделяется на две формы – обменную и гидролитическую.

Актуальной (активной) кислотностью называется кислотность почвенного раствора. Она оказывает непосредственное влияние на жизнь растений и может быть благоприятной или неблагоприятной для них. Актуальная кислотность обусловлена наличием в растворе угольной кислоты, органических кислот и гидролитически кислых солей. Определяется обычно измерением рН водной суспензии или водной вытяжки из почвы.

В зависимости от величины рН реакция почвенного раствора подразделяется:

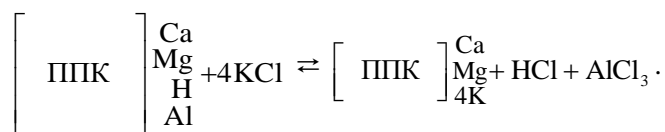
Реакция:	рН
– сильнокислая	3–4
– кислая	4–5
– слабокислая	5–6
– нейтральная	7

Наибольшая кислотность почвенного раствора бывает в сфагновых торфах – рН 3,5. Дерново-подзолистые и некоторые торфяные почвы имеют кислую или сильнокислую реакцию (рН 4–5); в выщелоченных черноземах и серых лесных почвах слабокислая реакция (рН 5,5–6,5). Близкая к нейтральной (рН 6,5–7) реакция раствора у обыкновенного и мощного черноземов.

Потенциальная кислотность. Это кислотность твердой фазы почвы, обусловленная наличием обменнопоглощенных ионов водорода и алюминия. Считается, что потенциальная кислотность обусловлена также катионами железа и марганца. Различают две формы потенциальной кислотности – **обменную** и **гидролитическую**.

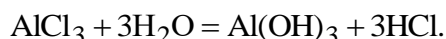
Обменная кислотность – это кислотность твердой фазы почвы, обусловленная обменно-поглощенными катионами водорода, железа, алюминия и марганца и проявляющаяся при действии растворов нейтральных солей.

Непосредственного влияния она на жизнь растений не оказывает, но влияет на актуальную кислотность при взаимодействии с катионами почвенного раствора. Например:



В результате вытеснения ионов водорода из почвенного поглощающего комплекса почвенный раствор подкисляется, то есть обменная кислотность уменьшается, а актуальная – увеличивается и оказывает влияние на рост растений.

Хлорид алюминия в растворе подвергается гидролитической диссоциации с образованием слабого основания и сильной кислоты, которая также подкисляет почвенный раствор:



Обменная кислотность определяется при взбалтывании навески почвы с раствором 1н КСl. В суспензии определяют рН, или вытяжку титруют и рассчитывают кислотность в ммоль-эк/кг.

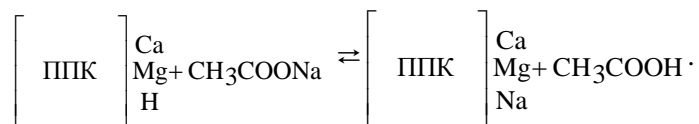
По величине рН почвы подразделяются:

Реакция:	рН
– очень сильнокислые	<4,0
– сильнокислые	4,1–4,5
– среднекислые	4,6–5,0
– слабокислые	5,1–5,5
– близкие к нейтральной	5,6–6,0
– нейтральные	>6,0

Обменная кислотность значительна (сильнокислая и кислая) в дерново-подзолистых почвах и красноземах, а в черноземах она практически отсутствует. При слабокислой реакции почвенного раствора (низкой актуальной кислотности) обменная кислотность невелика или отсутствует.

Следует помнить, что водородный показатель, или рН, – взятый с обратным знаком десятичный логарифм активности ионов водорода в растворе. Производить арифметические действия с ним нельзя. Пересчет рН в концентрацию H^+ производится с использованием мантиссы логарифмов.

Гидролитическая кислотность. При обработке почвы раствором нейтральной соли вытесняются не все поглощенные ионы водорода и алюминия. Более полно потенциальная кислотность выявляется при обработке почвы раствором гидролитически щелочной соли (отсюда и название этой формы потенциальной кислотности). Обычно для этого используют ацетат натрия:



Гидролитическая кислотность – это кислотность твердой фазы почвы, обусловленная прочно закрепленными ионами водорода, обнаруживаемая при действии на почву раствором гидролитически щелочной соли.

Величину кислотности определяют титрованием щелочью вытяжки 1 н ацетата натрия и выражают в ммоль-эк/кг почвы, а в некоторых случаях потенциометрически и выражают величиной рН.

Потенциальная кислотность, определенная таким способом, включает как ионы H^+ и Al^{3+} , вытесняемые раствором нейтральной соли КСl, так и ионы H^+ почвенного раствора. Поэтому она получается больше обменной кислотности, которую обычно не вычитают из суммарной кислотности, получаемой в вытяжке ацетатом натрия.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются значительной гидролитической и сильно выраженной обменной кислотностью. Выщелоченные черноземы имеют низкую гидролитическую кислотность и небольшую обменную.

Степень насыщенности почвы основаниями. Для свойств почвы важна не только абсолютная величина кислотности, но и ее доля от емкости обмена, которая называется степенью насыщенности основаниями.

Степень насыщенности почвы основаниями – это отношение суммы обменных оснований к сумме гидролитической кислотности и суммы обменных оснований. Вычисляется она по формуле:

$$V = \frac{S}{T} \cdot 100, \text{ или } V = \frac{S}{S + H_{\Gamma}} \cdot 100,$$

где: V – степень насыщенности основаниями, % от емкости катионного обмена;
 S – сумма обменных оснований, ммоль-эк/кг почвы;
 T – емкость обмена, ммоль-эк/кг почвы;
 H_{Γ} – гидролитическая кислотность, ммоль-эк/кг почвы.

Степень насыщенности основаниями показывает, какая часть от емкости обмена приходится на обменные основания. Она колеблется в различных почвах от 5 до 100 %. Этот показатель учитывается при химической мелиорации почвы – известковании.

Связь между степенью насыщенности почвы основаниями, величиной емкости обмена и гидролитической кислотностью представлена на рисунке 59 (Клечковский В.М., 1954). При одном и том же количестве поглощенного водорода первая почва будет более кислой, чем вторая, где на долю кислотности приходится лишь небольшая часть от всей емкости обмена. Третья почва имеет такую же степень насыщенности основаниями, как и первая, но емкость обмена и гидролитическая кислотность у них различные. Несмотря на одинаковую степень насыщенности, третья почва с более высокой гидролитической кислотностью требует больше извести, чтобы реакция этой почвы сравнялась с реакцией первой почвы.

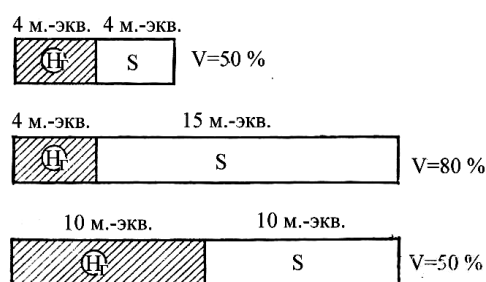


Рис. 59. Соотношение между величиной емкости обмена, гидролитической кислотностью и степенью насыщенности основаниями
(м.-экв.: прежнее обозначение ммоль-эк; на 100 г почвы)

6.7.2. Щелочность почвы

Щелочная реакция почв, так же как и повышенная кислотность, оказывает отрицательное действие на рост растений. В почве различают *актуальную* и *потенциальную щелочность*.

Актуальной щелочностью называют щелочность почвенного раствора. Она, так же, как и актуальная кислотность, оказывает непосредственное влияние на жизнь растений. Обусловлена актуальная щелочность наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей – Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и других, которые при диссоциации создают преобладающую концентрацию гидроксид-ионов, например:



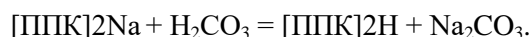
Величину активной щелочности выражают показателем pH почвенного раствора или водной суспензии. При этом выделяют реакции:

Реакция:	pH
– слабощелочная	7,2–7,5
– щелочная	7,6–8,5
– сильнощелочная	> 8,5

Выражают ее также и в ммоль-эк/кг почвы, рассчитывая по результатам титрования.

Активная щелочность является крайне неблагоприятным свойством почвы, так как угнетает рост растений и микроорганизмов.

Потенциальная щелочность. Щелочность, обусловленную обменнопоглощенным натрием, называют *потенциальной*. Проявляется потенциальная щелочность при взаимодействии почв, содержащих поглощенный натрий, с угольной кислотой почвенного раствора:



В результате обменной реакции в почвенном растворе появляется карбонат натрия, который подщелачивает раствор. Так как между потенциальной и активной щелочностью существует равновесие, устранить актуальную щелочность можно только устранив потенциальную. Это проводится путем химической мелиорации – гипсования почв.

6.7.3. Буферность почвы

Реакция почвенного раствора непостоянна. Она изменяется под влиянием жизнедеятельности растений и микроорганизмов, химических и физико-химических процессов. Выделение углекислого газа корнями растений, образование азотной кислоты при нитрификации приводят к подкислению почвенного раствора. При взаимодействии твердой фазы почвы с почвенным раствором реакция также изменяется. Изменение реакции происходит и при внесении удобрений.

Изменение реакции на разных почвах неодинаково. На одних действие подкисляющих или подщелачивающих веществ проявляется больше, на других меньше вследствие буферной способности почв.

Кислотно-основная буферность почвы называют способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора.

Состав почвенного раствора влияет на буферность почв благодаря находящейся в нем угольной кислоте, органическим кислотам и их солям. Буферное действие обусловлено слабой степенью диссоциации этих кислот, их солей и способностью связывать появляющиеся в почвенном растворе кислоты и щелочи в слабо диссоциирующие соединения.

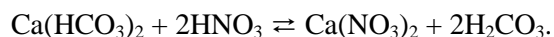
Различают буферность против изменения реакции в сторону *подкисления* и буферность против изменения реакции в сторону *подщелачивания*. Буферность почвы в целом зависит от буферных свойств ее жидкой и твердой фаз.

Буферная способность почвенного раствора обусловлена находящимися в нем слабыми кислотами и их солями. Слабая кислота, например H_2CO_3 , частично диссоциирует с образованием ионов H^+ и HCO_3^- :

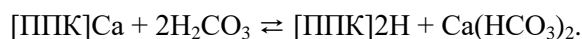


Если в растворе появится щелочь, то произойдет связывание ионов H^+ . Равновесие сместится, и часть молекул H_2CO_3 перейдет в диссоциированное состояние. В результате рН раствора изменится мало. Следовательно, слабая кислота будет противостоять подщелачиванию раствора.

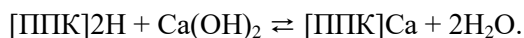
Раствор, в котором находится смесь слабой кислоты и ее соли, например H_2CO_3 и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, будет буферным также и против подкисления. Если в почвенном растворе появится, например, азотная кислота, то при взаимодействии ее с $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в растворе образуется нейтральная соль и слабодиссоциирующая угольная кислота. Поэтому рН раствора изменится мало:



Буферные свойства почвенного раствора связаны, главным образом, с буферностью твердой фазы почвы. Важную роль при этом играют количество и состав обменных катионов. Например, при значительном содержании в почвенном поглощающем комплексе поглощенных кальция и магния (в черноземах) они будут обмениваться на ионы H^+ почвенного раствора, рН его изменится мало:



Почвы, не насыщенные основаниями (дерново-подзолистые, красноземы), обладают буферностью против подщелачивания. При внесении в эти почвы щелочи катионы ее будут обмениваться на ионы H^+ , рН раствора также изменится мало:



Чем больше гидролитическая кислотность почв, тем больше будет буферное действие против подщелачивания.

Буферность имеет большое значение при внесении минеральных удобрений. На почвах с низкой буферностью (песчаных и супесчаных, бедных гумусом) при внесении кислых удобрений, возможно их подкисление, что неблагоприятно скажется на росте растений. На тяжелых почвах, богатых гумусом и, следовательно, с высокой емкостью обмена и характеризующихся поэтому высокой буферностью, реакция раствора смещается слабо. Против подкисления особенно устойчивы почвы с высокой степенью насыщенности основаниями, против подщелачивания – почвы с низкой степенью насыщенности основаниями. Буферность почв возрастает при внесении органических удобрений и проведении известкования.

6.8. Содержание химических элементов в почве и трансформация их соединений

Комплекс всех процессов поступления, трансформации и расходования питательных элементов обуславливает в почвах определенное количественное и качественное состояние их и определяет пищевой режим почвы в целом и каждого элемента в отдельности.

Ю.П. Жуков, 2002

Питание растений зависит от содержания и форм соединений элементов питания в почве. Под действием происходящих в ней физико-химических, химических и биологических процессов они претерпевают различные превращения. То же происходит и с внесенными удобрениями. Поэтому знание содержания, форм и путей превращения элементов питания в почве имеет большое значение для эффективного применения удобрений.

6.8.1. Азот

Кларк азота в земной коре равен 0,02 %, почве – 0,1, морской воде – $1 \cdot 10^{-5}$, растениях – 0,3, животных – 3,1 %. Запасы этого элемента на Земле достаточно велики, однако, 80 % из них составляет инертный молекулярный азот атмосферы, который не усваивается растениями и большинством микроорганизмов. Основная часть азота в почве (до 99 % общего содержания) находится в органической форме. Поэтому его содержание определяется запасами гумуса – чем они больше, тем больше азота содержится в почве и ее отдельных горизонтах (табл. 37; Эйсерт Э.К, Ачканов А.Я., Дургарьян Н.Г. и др., 1987).

Органические азотсодержащие соединения почвы подразделяются на: легкогидролизуемые, трудногидролизуемые и негидролизуемый остаток. Почвы Российской Федерации различаются по содержанию форм органического азота (табл. 38).

Таблица 37. Содержание гумуса и азота в почвах Краснодарского края, %

Почва	Гумус	Азот
Черноземы	3,5–6,5	0,18–0,40
Лугово-черноземные	3,8–6,5	0,20–0,35
Серые лесные	2,1–5,4	0,16–0,31
Бурые лесные	2,1–4,4	0,10–0,20

Таблица 38. Запасы азота и его формы в основных типах почв

Почвы	Запас азота в 0–100 см слое, т/га	Форма азота, % от общего содержания		
		минеральный + легкогидролизуемый	трудногидролизуемый	негидролизуемый
Дерново-подзолистые	6,6	8–11	10–20	69–82
Болотные	60,0	2–3	18–20	77–80
Серые лесные	12,0	8–13	15–24	63–77
Черноземы типичные	35,8	12–15	18–22	58–69
Черноземы южные	17,0	18–22	26–42	35–52
Каштановые	10,9	12–15	15–19	66–73
Сероземы	7,5	10–16	20–25	59–70
Красноземы	10,5	8–10	14–18	72–78

Азот в биосфере находится в состоянии непрерывных циклических превращений, осуществляемых, главным образом, почвенной микрофлорой (рис. 60; Делвич К., 1972). Меньшая удельная масса в этих превращениях приходится на

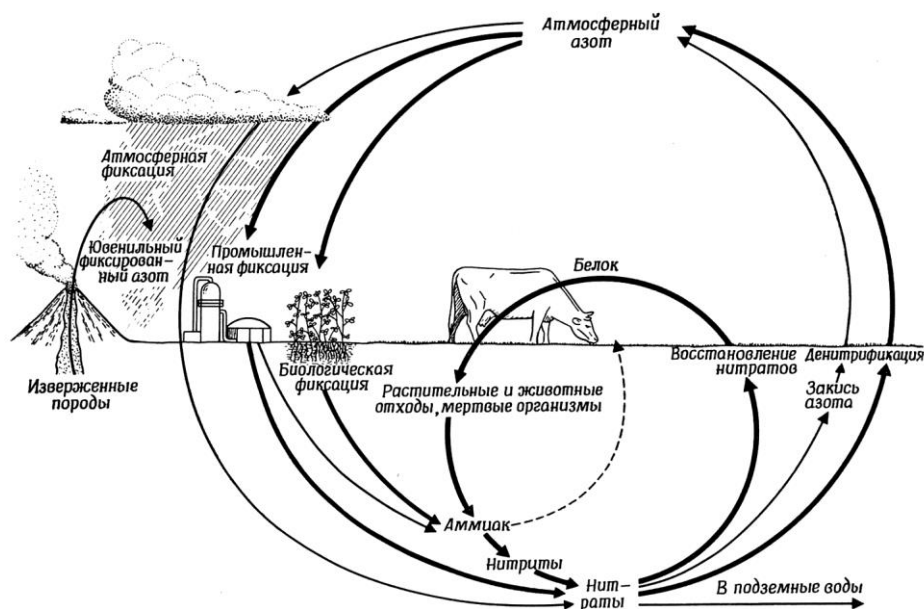


Рис. 60. Круговорот азота в природе

чисто химические и физико-химические реакции. Круговорот азота складывается из фиксации молекулярного азота воздуха, окисления и восстановления минеральных, органических азотсодержащих соединений. Он включает процессы азотфиксации и денитрификации, минерализации и иммобилизации.

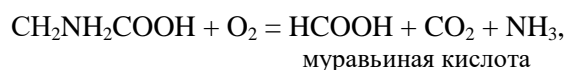
Фиксация молекулярного азота симбиотическими и свободноживущими диазотрофами, а также цианобактериями пополняет азотный фонд почвы органическими азотсодержащими соединениями. Денитрификация в широком смысле этого понятия, напротив, восстановлением минеральных форм азота до оксидов и N_2 способствует их улетучиванию из почвы. Минерализация и иммобилизация, в отличие от перечисленных выше процессов, в меньшей степени непосредственно влияют на баланс азота в почве, но определяют содержание в ней подвижных форм питательных веществ и тем самым условия азотного питания растений. Процессы минерализации – перевод азота органических веществ в азот минеральный, хорошо доступный растениям. Иммобилизационные процессы прямо противоположны им и трансформируют растворимые в воде соединения – преимущественно минеральные и поглощенный почвой аммоний в труднорастворимые и нерастворимые, недоступные растениям.

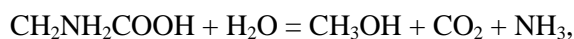
Минерализация органического азота в почве складывается из процессов аммонификации и нитрификации.

Азот органического вещества почвы растениям до минерализации недоступен. Превращение азотных соединений происходит при участии микроорганизмов. Этот сложный процесс можно представить в виде следующей схемы:

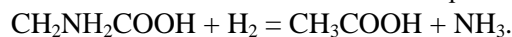


Аммонификация – процесс разложения азотсодержащих органических веществ с образованием аммиака, происходящий в результате жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов. Выделение аммиака в данном процессе происходит вследствие неравномерного потребления микроорганизмами азота и углерода разлагаемого ими субстрата ввиду преимущественного использования белков и их дериватов в качестве источника энергетического материала и углеродного питания. Процесс довольно сложен и происходит при участии комплекса ферментов, вырабатываемых микроорганизмами. Трансформация белковых молекул начинается с расщепления их протеиназами до полипептидов и олигопептидов. В дальнейшем пептидазы гидролизуют эти дериваты белка до аминокислот. Последние усваиваются микроорганизмами и под действием ферментов дезаминаз и дезамидаз подвергаются процессам дезаминирования и дезамидирования, в результате чего отщепляется аммиак, например:



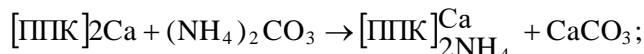
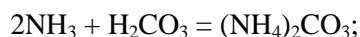


метилловый спирт



уксусная кислота

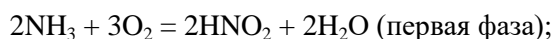
Выделяющийся аммиак образует соли с органическими и минеральными кислотами, образующимися при минерализации органического вещества почвы, поглощается почвенными коллоидами, усваивается растениями, а также может улетучиваться из почвы:



Процесс аммонификации неспецифичен. Его осуществляет самая многочисленная группа почвенных микроорганизмов, включающая аэробные и анаэробные бактерии, актиномицеты и плесневые грибы. Она представлена полифагами, большинство из которых способно потреблять самые разнообразные вещества и даже часто предпочитает в качестве энергетического материала сахара белкам.

Аммонификация происходит во всех почвах при разной реакции среды, в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных условиях при сильноокислой и щелочной реакции она сильно замедляется. На скорость аммонификации также влияют температура и влажность почвы. Если аммонификация протекает в аэробных условиях, то конечными продуктами этого процесса будут аммиак, углекислый газ, вода, сероводород и соли фосфорной кислоты. В анаэробных условиях не происходит полного окисления промежуточных продуктов распада аминокислот, поэтому кроме аммиака и углекислого газа, накапливаются различные органические соединения, в том числе и ядовитые – диамины или птомаины.

Нитрификация – процесс окисления аммонийного азота в нитратный. В отличие от аммонификации этот процесс происходит под действием двух строго специализированных групп микроорганизмов. Нитрификация протекает в две фазы:

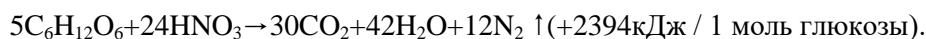
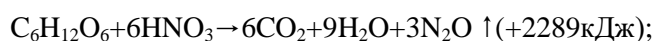


Первую фазу нитрификации – окисление аммиака в нитрит – выполняют нитрозные бактерии родов *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosolobus*, *Nitrosospira*, а вторую фазу – окисление нитрита в нитрат – проводят нитратные бактерии родов: *Nitrobacter*, *Nitrospina* и *Nitrococcus*. Группа автотрофных нитрифицирующих бактерий, как видно из приведенного перечня, невелика. Сами же бактерии-нитрификаторы в почвах малочисленны, имеют небольшую удельную массу в общей микробной биомассе, но могут проявлять высокую активность.

Образовавшаяся азотная кислота нейтрализуется почвенными солями, поглощенными основаниями. При доступе воздуха, влажности почвы 60–70 % капиллярной влагоемкости, температуре 25–32°C и pH 6,2–8,2 нитрификация протекает интенсивно. На скорость окисления аммиака до нитратов влияет также обработка почвы, известкование и удобрения. Нитратный азот является основным источником азотного питания растений.

Нитратный азот не образует в почве малорастворимые соединения и не поглощается почвенными коллоидами, поэтому нитраты находятся преимущественно в почвенном растворе. Они легко передвигаются в почве и могут вымываться вниз по профилю, особенно на не занятых растениями участках. При развитии растений нитратного азота в почве остается мало и существенно снижаются потери в результате вымывания.

Денитрификация – образование из нитратов газообразных форм NO_2 , NO , N_2O и N_2 . Различают прямую и косвенную денитрификацию. Последняя осуществляется чисто химическим путем при взаимодействии азотной кислоты с аминными соединениями. Роль микроорганизмов в этих процессах действительно косвенная и сводится к образованию нитритов, главным образом, из нитратов. Косвенной денитрификации способствуют самые различные виды микроорганизмов, которые не только восстанавливают нитраты, но и разлагают белковые вещества с образованием аминокислот. Прямая денитрификация вызывается жизнедеятельностью денитрифицирующих микроорганизмов, очень широко распространенных в почве, навозе, водоемах. Наиболее распространенными из них являются *Bac. denitrificans*, *Bac. stutzeri*, *Bac. fluorescens* и *Bac. pycnosauveum*. Этот процесс наиболее интенсивно развивается в плохо дренированных обогащенных органическим веществом почвах, при реакции почвенного раствора близкой к нейтральной и температуре порядка 25°C . При денитрификации происходит окисление органических соединений кислородом нитратов, за счет чего образуются газообразные формы азота и происходят его потери из почвы. Восстановление HNO_3 до N_2O и N_2 идет по следующим реакциям:



Если денитрификация развивается ниже глубины распространения корневых систем, то она может рассматриваться как благоприятное явление. В этом случае денитрификация предотвращает загрязнение грунтовых вод нитратами. Однако денитрификация в корнеобитаемом слое снижает обеспеченность растений азотом. Газообразные потери азота происходят не только в форме N_2 , но и в виде закиси азота N_2O . Ежедневная эмиссия N_2O из почвы в атмосферу составляет от следовых количеств до $0,02\text{--}0,05 \text{ мг N} / \text{м}^2$. Эмиссия увеличивается во влажные, дождливые периоды при теплой погоде.

Поступление азота в почву. Азот поступает в почву с атмосферными осадками в аммонийной и нитратной форме в количестве $2\text{--}11 \text{ кг/га}$ в год.

Свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы, анаэробные азотфиксирующие микроорганизмы, а также анаэробные *Clostridium pasteurianum* и аэробные *Azotobacter chroocoeum* накапливают азота $7,5\text{--}42 \text{ кг/га}$, под рисом $60\text{--}70 \text{ кг}$. При внесении невысоких доз азота и инокуляции почвы микроорганизмами усвоение не бобовыми растениями фиксированного микроорганизмами азота составляет $7\text{--}16 \%$ от общего выноса этого элемента растениями.

Клубеньковые бактерии, относящиеся к роду *Rhizobium*, в симбиозе с бобовыми растениями способны фиксировать на 1 га клевера $150\text{--}160 \text{ кг}$, люцерны $250\text{--}300$, сои 100 , вики, гороха, фасоли $70\text{--}80 \text{ кг}$. Азотфиксация хорошо развивается в почвах с нейтральной или слабокислой реакцией при $\text{pH} 6\text{--}7$, при высоком содержании органического вещества, подвижных форм фосфора и калия, а также микроэлементов бора и молибдена.

Потери азота. Из внесенных в почву азотных удобрений растения используют 35–50 %, около 25 % иммобилизуется и включается в состав гумуса, азотные потери почвы колеблются от 25 до 40 % (денитрификация 20 %, вымывание 5 %).

Потери минерального азота в почве происходят вследствие его иммобилизации в результате поглощения микроорганизмами, необменного поглощения аммония, вымывания (преимущественно нитратов), газообразных потерь. Чтобы уменьшить потери вследствие иммобилизации, необходимо при внесении в почву органического вещества с широким соотношением углерода и азота (солома, большое количество пожнивных остатков) добавлять в виде минеральных удобрений примерно 1 % азота от массы соломы.

Для уменьшения необменного поглощения аммония азотные удобрения не рекомендуется вносить в поверхностный слой почвы, подверженный попеременному высыханию и увлажнению.

Потери азота от вымывания можно резко уменьшить, если вносить удобрения поближе к периоду потребления растениями, в фазы наибольшего потребления, в несколько сроков, а также путем подбора форм азотных удобрений.

Газообразные потери в виде NH_3 , N_2O , N_2 составляют 10–35 % от внесенного азота. Потери аммиачного азота возрастают на карбонатных и щелочных почвах (10–40 %), а также при поверхностном внесении карбамида, избытке органического вещества, увлажнении и высокой температуре.

Для оценки плодородия почвы обычно определяют общий азот, фиксированный аммоний и минеральный азот (нитратный и аммонийный); в научных целях помимо этого изучают также фракционный состав азота. Для расчета потребности в удобрении определяют легкогидролизуемый и минеральный азот.

6.8.2. Фосфор

Кларк фосфора в земной коре равен 0,08 %, почве – 0,08, морской воде – $5 \cdot 10^{-6}$, растениях – 0,07, животных – 0,95 %. Общее количество фосфора на Земле составляет примерно 10^{19} т, в том числе в земной коре – 10^{15} т. Основные его запасы сосредоточены в горных породах земной коры, в донных осадках морей и океанов, а также в гумусовом горизонте почв (Гинзбург К.Е.). Главными источниками поступления фосфора в почву служат материнские породы, метеоритная пыль и осадки, вулканический дым, пепел и лава, органические остатки растительного и животного происхождения, органические и минеральные удобрения.

Общие запасы фосфора в почве крайне малы – 0,1–0,2 % (P_2O_5). Из них 10–20 % относительно доступны растениям, 50–60 % малодоступны и 20–40 % практически недоступны. Содержание фосфора в почве резко убывает с глубиной. Урожаем из почвы выносятся 50–60 кг/га в год. По данным В. А. Ковды, через 40–50 лет использования даже лучшие почвы без фосфорных удобрений истощаются, и урожаи на них падают.

Содержание фосфора в пахотном слое почв Краснодарского края находится в пределах 0,07–0,24 % (табл. 39; Эйсерт Э.К., Ачканов А.Я., Дургарьян Н.Г. и др., 1987).

Почвенный фосфор можно разделить на четыре большие группы: 1) фосфор, присутствующий в виде ионов и соединений в почвенном растворе; 2) фосфор, адсорбированный на поверхности неорганических компонентов почвы; 3) аморфные и кристаллические минералы, содержащие фосфор; 4) фосфор, входящий в состав органического вещества почвы.

Количество фосфора, связанного с органическим веществом почвы, в пахотном слое колеблется в довольно широких пределах, составляя 10–70 %

валового фосфора. В органическом веществе почв фосфор находится как в составе неспецифических органических соединений (фитина, нуклеопротеидов, нуклеиновых кислот, фосфатидов и их производных), так и в специфических гумусовых веществах.

Таблица 39 – Содержание фосфора в пахотном слое почв Краснодарского края

Почвы	Содержание фосфора, %
Черноземы	0,16–0,24
Лугово-черноземные	0,18–0,22
Серые лесные	0,07–0,23
Бурые лесные	0,10–0,20

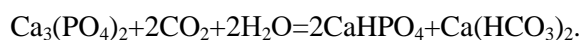
Минеральные соединения фосфора в почве представлены первичными минералами почвообразующих пород, а также разнообразными соединениями вторичного происхождения в виде солей фосфорной кислоты с щелочными и щелочноземельными основаниями и полуторными оксидами. Преобладающая часть неорганических фосфатов в почвах представлена апатитовой группой.

В минеральных соединениях почв фосфор представлен большей частью малоподвижными формами. Растворимость фосфатов кальция, магния, алюминия и железа тем меньше, чем выше их основность. В почвах кислых, не насыщенных основаниями, фосфорная кислота связана преимущественно с железом и алюминием в форме $FePO_4$, $AlPO_4$, а при избытке полуторных оксидов и в виде более основных солей: $Fe_2(OH)_3PO_4$, $Al_2(OH)_3PO_4$.

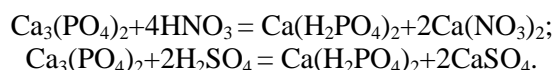
В слабокислых, нейтральных и слабощелочных почвах преобладают фосфаты кальция. Наиболее устойчивой и менее растворимой формой фосфатов кальция является гидроксилapatит $Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$. В порядке возрастания растворимости следуют трикальцийфосфат $Ca_3(PO_4)_2$, октакальцийфосфат $Ca_8H_2(PO_4)_6 \cdot 5H_2O$, монетит $CaHPO_4$, брусит $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$. В почвах богатых кальцием растворимые фосфаты кальция становятся более основными и менее растворимыми, превращаясь в конечном итоге в гидроксилapatит (Кауричев И.С., 1975).

Соединения фосфора в почвах подвергаются различным превращениям. Из них наибольшее значение для плодородия почв и питания растений имеют минерализация органических соединений фосфора, изменение подвижности фосфорных соединений, иммобилизация фосфора и фиксация фосфатов. Круговорот фосфора в природе представлен на рисунке 61 (Дювинью П., Танг М., 1973).

Увеличение подвижности фосфорсодержащих веществ – это превращение труднодоступных соединений в более легко растворимые или переход их в почвенный раствор. Растворение фосфатов в почве происходит в результате образования микроорганизмами углекислоты:



Мобилизация нерастворимых соединений фосфора происходит благодаря образованию микроорганизмами органических кислот и кетокислот при неполном окислении углеводов или их брожении. В мобилизации фосфора участвуют также азотная кислота – продукт метаболизма нитрифицирующих бактерий, и серная кислота – сероокисляющих бактерий. Превращение фосфатов кальция в дигидрофосфат протекает следующим образом:



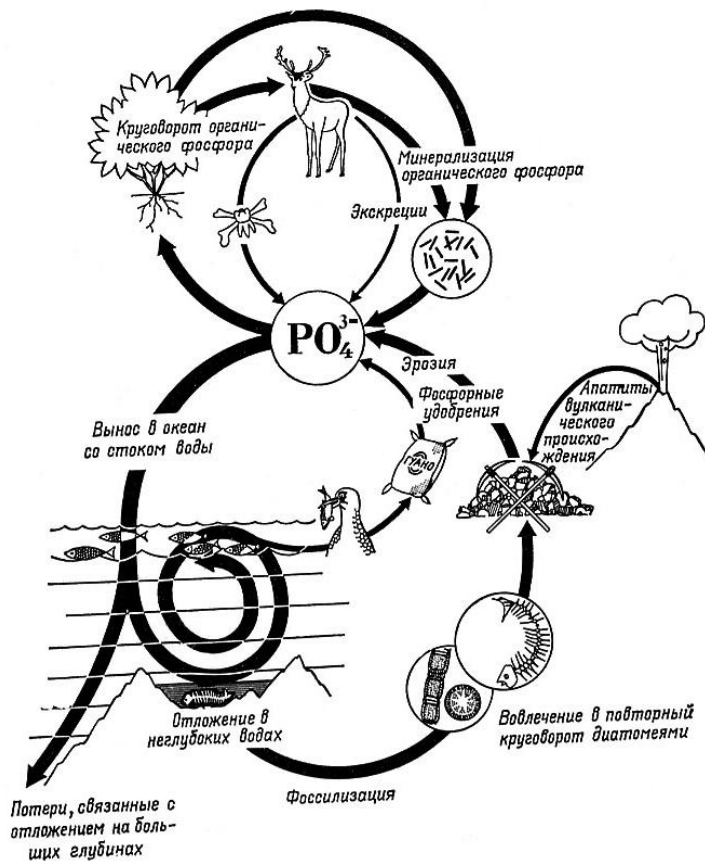


Рис. 61. Круговорот фосфора в биосфере

Фосфаты кальция и магния нерастворимы в воде и малорастворимы в слабых кислотах, поэтому для большинства культур они недоступны. Исключение составляют люпин, горох, эспарцет, гречиха, донник, горчица и конопля. Способность этих растений питаться за счет труднорастворимых фосфатов объясняется, прежде всего, кислотностью их корневых выделений и большей потребностью в кальции, чем в фосфоре. Более интенсивное поглощение кальция этими растениями из внешнего раствора усиливает переход в него фосфорной кислоты фосфорита, что вполне обеспечивает потребность культуры в фосфат-ионах за счет труднорастворимых соединений.

Фосфаты одновалентных катионов, дигидрофосфаты кальция и магния хорошо растворимы в воде и легко доступны растениям. Водорастворимых соединений фосфора в почве очень мало. Растения способны усваивать фосфорнокислые соли, которые растворяются под действием кислот, выделяемых корнями и микроорганизмами. В слабых кислотах растворяются и гидрофосфаты кальция и магния. Так как водорастворимых соединений фосфора в почве мало, для суждения о степени обеспеченности почв доступным фосфором используют слабокислые (например, 0,5 н уксусная кислота) или солевые вытяжки. Это дает сравнимые показатели, которые используются для оценки обеспеченности почв и определения потребности в удобрениях.

Процесс минерализации органических фосфатов протекает под влиянием микроорганизмов и сводится в конечном итоге к гидролитическому отщеплению фосфорной кислоты из фосфорорганических соединений. Фосфорная кислота, освободившаяся в процессе разрушения органических фосфатов, полностью растениями не используется, поэтому часть ее подвергается вторичному закреплению в почве в форме труднорастворимых и органических соединений. Следовательно, использование растениями фосфора органического вещества почвы может протекать по мере минерализации органических фосфатов и зависит от интенсивности биологических процессов в почве. Процессы разложения органического вещества почвы, в том числе и органических фосфатов, протекают медленно, поэтому большая часть фосфора, связанного с органическим веществом почвы, является труднодоступной для растений.

Иммобилизацией называют превращение неорганических соединений фосфора в органические формы микробных клеток; в результате чего фосфор оказывается недоступным для растений.

Фиксация фосфора заключается в потере растворимости фосфорсодержащих соединений за счет образования прочных связей с минеральными компонентами почвы. Общая схема трансформации соединений фосфора в почве приводится на рисунке 62 (Куркаев В.Т., Шеуджен А.Х., 2000).



Рис. 62. Трансформация соединений фосфора в почве

Количество растворимого фосфора (в основном H_2PO_4^- и HPO_4^{2-}) в почве всегда крайне незначительно – 0,1–1,0 мг/кг пахотного слоя. И все же растения получают из почвенного раствора практически весь необходимый им фосфор, потому что содержание фосфора в почвенном растворе постоянно восполняется. Это может идти либо за счет минерализации органического вещества, либо за счет реакций равновесия с адсорбированными фосфат-ионами и труднорастворимыми фосфатами. Путем рациональной обработки и ухода за почвой опытный земледелец так управляет биологическими процессами, происходящими в ней, чтобы в почве постоянно и равномерно происходила мобилизация фосфора.

6.8.3. Калий

Кларк калия в земной коре равен 2,5 %, почве – 1,36, морской воде – 0,038, растениях – 0,3, животных – 0,27 %. Его источником в горных породах и почвах являются минералы группы силикатов и алюмосиликатов. Содержание калия в почвах определяется прежде всего их минералогическим составом. Основная часть почвенного калия входит в состав полевых шпатов (ортоклаз, микроклин), слюд (биотит, мусковит) и различных глинных минералов (иллит, вермикулит, монтмориллонит).

Валовое содержание калия в почве значительно и при тяжелом гранулометрическом составе может превышать 2 %. В дерново-подзолистых супесчаных почвах валового калия содержится 1–2 %, серых лесных почвах и сероземах – 2,5, каштановых почвах – 2, красноземах – 0,6–0,9, солонцах и солончаках – 1,2–3 %. В черноземах Краснодарского края калия содержится 1,4–2,1 %. Большинство почв обеспечены лучше этим элементом, чем азотом и фосфором. Но на многих почвах, особенно при внесении азотных и фосфорных удобрений, доступного растениям калия не хватает и требуется вносить калийные удобрения.

Упрощенная схема круговорота калия в природе показана на рисунке 63 (Руссель С., 1977).

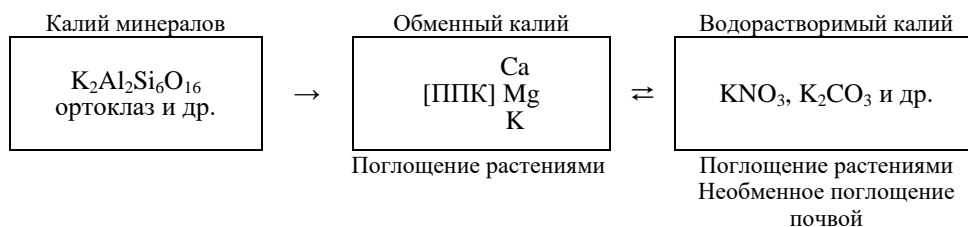


Рис. 63. Круговорот калия в природе

а – микробиологическое разложение пожнивных остатков; б – выветривание минералов; в – питание растений и перевод микроорганизмами в недоступные формы; г – физико-химические преобразования; д – геологическое напластование остатков организмов.

Калий в почве содержится в кристаллической решетке почвенных минералов; в обменном и необменном поглощенном состоянии в коллоидных частицах; в составе пожнивно-корневых остатков и микроорганизмов, в виде минеральных солей почвенного раствора.

Превращение калия в почве протекает по схеме:



Основная часть калия (97–99 %), находящаяся в составе минералов, растениям недоступна. Он постепенно освобождается в процессе выветривания минералов.

Калий обменный – адсорбционно связан с почвенными коллоидами, играет очень важную роль в питании растений; составляет 1–3 % от валового. Водорастворимый калий составляет 1/5–1/10 часть от обменных форм. Он полностью доступен для питания растений. Его запасы пополняются за счет обменного калия. Часть калия почвы, входящая в состав плазмы микроорганизмов, может достигать 40 кг/га. Калий фиксированный – поглощенный тонкодисперсной фракцией в необменное состояние. В результате доступность

растениям уменьшается. Количество фиксированного калия в черноземах достигает 300–700 кг/га.

Обеспеченность почв калием выражается содержанием его подвижных форм, главным образом обменного калия, в кислотных или солевых вытяжках (например, в 0,5 н уксусной кислоте). Использование растениями калия из удобрений довольно велико – 60–70 %.

6.8.4. Кремний

Кремний – второй элемент после кислорода по распространенности в литосфере. Его кларк в земной коре равен 27,6 %, почве – 33,0, морской воде – $5 \cdot 10^{-5}$, растениях – 0,15, животных – $1 \cdot 10^{-5}$ %. В то же время кремний, как правило, не встречается в природе в свободном виде, а входит в состав многочисленных минералов. К наиболее распространенным кремнийсодержащим минералам относятся кварц, горный хрусталь, кремьень, яшма, агат, халцедон, трепел, слюда, асбест и полевые шпаты. Всего известно более 800 кремнийсодержащих минералов.

Значение и роль соединений кремния в почвах определяется следующими основными положениями:

1) соединения кремния в большинстве почв и горизонтов создают их материальную основу, основной костяк почвенной массы, выполняя тем самым важнейшую конституционную роль;

2) количественное распределение кремния по почвенному профилю служит одним из важнейших показателей типа протекающих процессов, а по отношению $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ или $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ различают типы кор выветривания;

3) с соединениями кремния непосредственно связаны многие важнейшие свойства почвы. От содержания и состава алюмосиликатов – глинных минералов, зависят связность и липкость почв, их набухаемость, а также емкость катионного обмена. В глинистых и тяжелосуглинистых почвах даже инертный кварц может играть положительную роль, улучшая их водно-воздушный режим (Орлов Д.С., 1985).

Кремний в форме анионов орто- и метакремниевых кислот $(\text{SiO}_4)^{4-}$ и $(\text{SiO}_2)^{2-}$, силикатов натрия и калия, частично в форме золя, постоянно поступает в почвенные растворы и грунтовые воды в результате гидролиза раздробленных алюмосиликатов и растворения кварца, халцедона, опала, а также минерализации растительных остатков. Кремний легко переходит из минералов в почвенный раствор, если он находится в нем в неравновесной концентрации. Как показали исследования Д.С. Орлова (1985), такой переход зависит прежде всего от степени окристаллизованности кремнезема, величины рН и водного режима почвы. По его данным, растворимость кварца в воде составляет около $2 \cdot 10^{-4}$ моль/кг, нарастая при увеличении рН. Растворимость аморфного кремнезема примерно в 10 раз выше, но она очень сильно зависит от степени гидратации и в гидратированной форме кремнекислота образует довольно устойчивые водные коллоидные растворы. Вторым фактором, влияющим на растворимость кремнезема, – это реакция среды. При значениях рН ниже 5 и выше 10 растворимость кремнезема наибольшая. Минимум растворимости приходится на промежуточный интервал рН. Следующий фактор, от которого зависит концентрация кремния в почвенном растворе, – адсорбция кремнекислоты твердой фазой почвы. Адсорбция мономерных форм кремниевой кислоты, как и растворимость, зависит от рН среды. При увеличении рН от 3,0 до 6,5 этот процесс ускоряется, а в интервале рН 6,5–10,0 – очень быстро. Количество адсорбированной SiO_2 при изменении рН от 6,5 до 10,0 увеличивается в 2–3 раза.

В содовых солончаках и в солонцовых почвах идет мобилизация соединений подвижного кремнезема щелочными растворами, их перемещение в профиле с явлениями сильно выраженной слитости и цементации почвенных горизонтов.

Кремнезем, поступивший в раствор при выветривании, осаждается также биологическим путем. Диатомовые водоросли, радиолярии, растения, особенно злаки (бамбук), усваивают подвижный кремнезем, полимеризуют его в опал и переводят в осадок.

Процессы высвобождения кремниевой кислоты из почвенных силикатов называют *десиликацией*. Свободная кремнекислота может соосаждаться с гидроксидами алюминия, образуя аллофаны*. В условиях промывного водного режима происходит ее выщелачивание из почвы. Наиболее интенсивно процесс десиликации протекает в рисовых оросительных системах и почвах влажных тропиков при образовании латеритов** и ферраллитов***. При латеритизации и ферраллитизации в профиле почв накапливаются устойчивые продукты выветривания, такие как гиббсит (Орлов Д.С., 1985).

Миграция кремния в почвенном растворе может происходить в мономерной, димерной, полимерной и кремнийорганической формах. Преобладают, однако, моно- и димерные формы.

На содержание растворимого кремния в почвенном растворе определенное влияние могут оказать присутствующие здесь ионы фосфора, алюминия, кальция и железа. В кислых почвах силикатный и фосфатный ионы образуют нерастворимые осадки, которые могут связывать и ряд катионов, тогда как оксиды алюминия и железа обладают заметной сорбционной емкостью в отношении растворенного кремния в форме H_4SiO_4 . Сульфаты, бикарбонаты и карбонаты магния и кальция резко снижают растворимость кремнезема и вызывают его осаждение в виде силикатов щелочных земель или оксида. Органическое вещество, присутствующее в затопляемых и переувлажненных почвах, также повышает подвижность кремния. Это происходит за счет восстановления водных оксидов железа, которые высвобождают адсорбированные на них момеры кремниевой кислоты.

Валовое содержание кремнезема колеблется от 40–70 % в глинистых почвах до 90–98 % в песчаных. В почвах Краснодарского края валовые запасы кремнезема составляют 55,5–70,5 %.

Ежегодно в мире 210–224 млн. т кремния безвозвратно отчуждается урожаем. Поэтому в почвах сельскохозяйственного назначения быстро снижается концентрация монокремниевой кислоты, особенно в пахотном горизонте. Нарастающий дефицит кремния вызывает ряд негативных последствий, т. к. кремний является не только питательным, но и конструктивным почвенным элементом. Дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение содержания аморфного кремнезема приводят к разрушению органо-минерального комплекса почвы, ускорению деградации органического вещества, ухудшению минералогического состава.

В почвах Краснодарского края содержится 0,51–0,55% доступного растениям кремния; при этом, согласно выполненным нами расчетам, баланс этого элемента в почвах края отрицателен.

* Аллофан – водный силикат алюминия с соотношением Al:Si=1:1.

** Латерит – почва, являющаяся элювиальным продуктом физико-химического выветривания алюмосиликатов в условиях жаркого и влажного климата.

*** Ферралиты – тип почвы, характеризующийся низким содержанием кремнезема, высоким – алюминия и железа, низкой катионной обменной и высокой анионной поглотительной способностью, очень кислой реакцией.

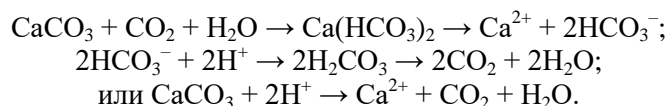
6.8.5. Кальций

Кларк кальция в земной коре равен 3,5 %, почве – 1,37, морской воде – 0,04, растениях – 0,30, животных – 1,90 %. Кальций относится к числу элементов, характеризующихся существенной долей в составе почвообразующих пород почвы. Общее его содержание в почве составляет большей частью 0,1–2,0 %. Почвы, образованные из продуктов выветривания известняков, могут содержать до 10 % этого элемента. Высоким содержанием кальция отличаются и почвы низинных торфяников.

Кальций в почве представлен в виде водорастворимых солей, обменно-поглощенных ионов, а также кальцием, входящим в состав кристаллической решетки минералов и органического вещества почвы.

Наиболее распространенными кальцийсодержащими минералами являются карбонат кальция (CaCO_3) и доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). В небольшом количестве встречаются гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), различные фосфаты кальция и апатиты. Из силикатных минералов особенно богаты кальцием плагиоклаз, пироксены и амфиболы. В числе других минералов, содержащих этот элемент, в почвах встречаются полевой шпат, роговая обманка и эпидот. Они входят в состав изверженных и метаморфических пород, медленно выветриваются и играют гораздо меньшую роль в питании растений кальцием, чем карбонаты или сульфаты.

Растворимость кальцийсодержащих минералов в почве зависит от величины рН и содержания диоксида углерода. При подкислении она резко возрастает. Причем, карбонат кальция встречается в почве только при значениях рН выше 7,0 и определяет содержание кальция в почвенном растворе. Растворение карбонатов кальция и доломита ускоряется диоксидом углерода, выделяемым при разложении микроорганизмами органических веществ и дыхании корней растений. Процесс выветривания карбонатов имеет большое значение для разрушения известняковых и доломитовых пород, обезызвествления карбонатных осадочных отложений, таких как лесс* и ледниковый валунный мергель, и карбонатных почв. Вначале образуется хорошо растворимый гидрокарбонат кальция, диссоциирующий на ионы Ca^{2+} и HCO_3^- . Ионы водорода нейтрализуются с образованием CO_2 и H_2O . В результате обменной реакции появляются свободные ионы Ca^{2+} , часть которых образует соли с различными ионами почвенного раствора, а основная их доля обменно адсорбируется глинистыми минералами и гуминовыми кислотами:



Кальций доминирует среди обменных катионов почвенного поглощающего комплекса. На его долю приходится 40–75 % катионообменной емкости большинства плодородных окультуренных почв. Исключение составляют содержащие натрий щелочные почвы, кислые почвы с высоким содержанием алюминия и водорода, а также сформированные на серпентинитах богатые магнием почвы. В пахотном горизонте черноземов Ca^{2+} составляет 70–95 % емкости катионного обмена, Mg^{2+} – 3–11 %, K^+ – 0,3–5 %, Na^+ – 0,2–5 %, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ – 0–0,15 %, а в кислых подзолистых почвах, напротив, Ca^{2+} – 5–25 %, Mg^{2+} – 0,2–

* Лесс – рыхлая, пылеватая суглинистая карбонатная порода палевого или серо-желтого цвета.

3 %, K^+ – 0,2–3 %, Na^+ – следы, $H^+ + Al^{3+}$ – 70–90 %. Высокое насыщение многих почв кальцием обусловлено легким выветриванием кальцийсодержащих минералов, меньшей мобильностью двухвалентного катиона кальция по сравнению с одновалентными ионами, а также внесением извести.

Обменный кальций находится в равновесии с кальцием почвенного раствора, и это равновесие регулируется относительной силой его закрепления в ППК, которая, в свою очередь, зависит от природы катионообменных участков, дополнительных катионов и концентрации анионов в почвенном растворе. Содержание ионов кальция в почвенном растворе во много раз превосходит концентрацию других катионов. Оно составляет 100–300 мг/кг, что почти в 2 раза выше концентрации Mg^{2+} , в 10 раз – K^+ и примерно в 100 раз – $H_2PO_4^-$. Высокое насыщение многих почв кальцием обуславливает практически всегда полное обеспечение растений этим элементом. Недостаток кальция возникает очень редко.

Велика роль кальция в регулировании реакции почвенного раствора, формировании структуры почвы и содействии деятельности микроорганизмов.

В почвах избыточное количество кальция не может сохраняться в необменной, но потенциально доступной форме, таким же образом, каким большинство почв "фиксирует" калий в межпакетном пространстве кристаллической решетки, и тем самым предупреждает его вымывание. Однако некоторое количество кальция может быть удержано в почвенных минералах.

Размер потерь кальция из почв, обусловленных вымыванием, зависит от количества атмосферных осадков, валовых запасов элемента, гранулометрического состава почвы, и варьируют от 50 до 350 кг/га в год. Чем больше кальция содержится в почве, тем легче он теряется вследствие вымывания. На величину его потерь оказывают влияние и вносимые на поля удобрения. Аммонийные формы азотных удобрений способствуют вытеснению обменного кальция из почвенного поглощающего комплекса (ППК), и он теряется с просачивающейся водой. Ион аммония впоследствии нитрифицируется, и образовавшаяся кислота вытесняет из ППК ионы кальция. Калийные удобрения также способствуют потере кальция из почвы.

Большинство культур не предъявляют больших требований к запасам кальция в почве, и количество потребленного кальция обычно намного меньше выноса калия, но несколько больше, чем магния.

6.8.6. Магний

Кларк магния в земной коре равен 2,0 %, почве – 0,6, морской воде – 0,14, растениях – 0,07, животных – 0,03 %. Геохимия магния отличается парадоксальными чертами. С одной стороны, – это элемент глубин, накапливающийся в мантии и базальтовом слое. Характерна связь магния с железом и его семейством. С другой стороны, этот элемент накапливается в самых низкотемпературных и дисперсных системах – океане и соляных озерах. И здесь миграция магния резко отличается от Fe, Ca, Sr, Ba, она аналогична миграции наиболее подвижных элементов – Na, Cl, K, Br, I. Эта двойственность связана с размерами иона Mg^{2+} , который намного меньше, чем ионы Ca, Sr, Ba, K, Na. По размерам Mg^{2+} идентичен Ni^{2+} , близок Fe^{2+} и Co^{2+} . Это определяет изоморфизм Mg^{2+} с Fe^{2+} и Ni^{2+} в гипогенных силикатах. Поэтому в ультраосновных и основных породах магний тесно связан с железом (Fe^{2+}), он входит в состав оливина и пироксенов. В кислых породах магний входит в состав слюд, отчасти амфибо-

лов. Магний не очень характерен для гидротермальных систем, хотя известны гидротермальные доломитизация, серпентинизация* оталькование**.

Гипергенная миграция магния во многом связана с хорошей растворимостью его сульфатов и хлоридов. Для его круговорота важно карбонатное равновесие:



Однако из вод, как правило, осаждается не MgCO_3 (магнезит), а основные или двойные карбонаты, среди которых наиболее распространен доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (40 % всех осадочных карбонатных пород). Малые размеры иона магния позволяют ему входить в решетку глинных минералов. Этим он резко отличается от других щелочноземельных и щелочных металлов и близок к алюминию.

В почве магний представлен различными минералами, обменными катионами почвенного обменного комплекса и ионами почвенного раствора. Кроме того, небольшое количество магния связано с органической фракцией почвы. Основная часть почвенного магния – 90–95 % – содержится в различных минералах. К наиболее распространенным магнийсодержащим минералам относятся оливин, тальк, биотит, авгит, роговая обманка, доломит, магнезит, брусит, монтмориллонит, нонтронит, вермикулит, хлорит, иллит, вермикулит, сульфат и серпентин. Из-за выветривания наиболее растворимых из этих минералов – магнезита, доломита, сульфата и брусита – их содержание в почве гораздо ниже, чем в литосфере. Сульфат магния обладает такой высокой растворимостью, что почти не встречается в почве. В выветренных почвах высвобождение магния из оставшихся минералов за вегетационный период обычно не покрывает потребности растений в этом элементе.

В поверхностном горизонте почв содержится от 0,5 до 2,3 % магния. Более богаты этим элементом тяжелые по гранулометрическому составу почвы, а бедны пески. Недостаток его проявляется, главным образом, на торфянистых, песчаных и кислых почвах. Среднее валовое содержание магния в подзолистых почвах составляет 0,5 %; в лесостепных – 0,7; в черноземах – 0,9; в сероземах – 1,45 %. Кубанские черноземы содержат 0,8–1,1 % валового магния. В пределах каждого типа почвы колебания в содержании магния бывают значительными и связаны они с минералогическим составом материнской породы. Суглинки и глины, где преобладающим минералом является каолинит, бедны магнием, а где преобладает монтмориллонит – богаче им.

Важной в агрономическом отношении специфической особенностью магния является миграция его в нижние горизонты почвенного профиля. Этот процесс в природе, как правило, значительно превалирует над биологической его аккумуляцией в верхнем горизонте. По выносу из верхних горизонтов почвы магний обычно стоит на первом месте среди всех элементов, уступая лишь в некоторых случаях железу. Почвы зон с непромываемым водным режимом характеризуются большим абсолютным и относительным количеством двухвалентных катионов и меньшей их подвижностью по профилю почвы.

* Серпентинизация – процесс постмагматического изменения бесполевошпатовых ультраосновных почв. Сущность этого процесса состоит в замещении первично магматических безводных железисто-магнезиальных силикатов ультрабазитов водным силикатом магния – серпентином.

** Оталькование – процесс замещения оливина и пироксена ультраосновных горных пород тальком под воздействием кислых гидротермальных растворов.

Содержание магния в почве зависит также от ее гранулометрического состава. Мелкие почвенные частицы содержат больше магния, чем крупные: в иле – 51-70 % суммарного количества магния, в пыли – 22-42 % и в песке – 0,1-11 %. Сильное выветривание, эрозия почвы и вынос глинистого материала могут снижать содержание магния в верхних горизонтах почвы. Этот элемент может высвобождаться с равным успехом как из пылеватых, так и из илистых фракций; даже магний из межслоевых пространств и решетчатых структур минералов частично доступен растениям.

Валовое содержание магния в почве является лишь одним из показателей, характеризующих ее потенциальное плодородие. Основным источником питания растений этим элементом считаются водорастворимая и обменная формы. В целом содержание обменного магния в большинстве почв составляет 20–60 % его валовых запасов.

Сумма кальция и магния от всей емкости обмена ориентировочно составляет на торфяно-подзолистых почвах 57 %, дерново-подзолистых – 53, лесостепных – 80, обыкновенных черноземах – 85: мощных черноземах – 90, каштановых – 92 и в сероземах – 93 %. Из общего количества двухвалентных катионов (Ca+Mg) в почвенном поглощающем комплексе в среднем $\frac{1}{5}$ приходится на магний. Избыток этого элемента создается в том случае, если на обменный Mg^{2+} приходится более 40-60 % емкости катионного обмена; недостаток Mg^{2+} становится очевидным, когда в почве содержится менее 3–8 % обменного магния.

Почвы существенно различаются по содержанию обменного магния. Богаты им черноземы; несколько меньше его содержится в сероземах и подзолистых суглинистых почвах; бедны обменным магнием песчаные и супесчаные почвы. В пределах каждой группы этих почв отмечаются большие колебания по этому показателю. Содержание обменного магния в песчаных и супесчаных почвах обычно составляет 6-36 мг/кг, что соответствует 30-180 кг/га. Содержание обменного магния в черноземах Краснодарского края колеблется в пределах 80-120 мг/кг, а в пахотном слое лугово-черноземных почв Кубани, занятых под культурой риса – 90,4-95,8 мг/кг.

Содержание водорастворимого магния подвержено значительным изменениям в зависимости от времени взятия почвенных проб и режима увлажнения почвы. Количество ионов магния в почвенном растворе в зонах достаточного увлажнения значительно меньше, чем обменно-поглощенного магния. В то же время в условиях сухого климата, на засоленных почвах и при подъеме грунтовых вод к поверхности концентрация этого элемента в почвенном растворе может быть значительной. В таких случаях магниевые соли могут отлагаться в твердом состоянии в виде серых налетов на почвенных частицах.

По степени обеспеченности усвояемым растениями магнием почвы Российской Федерации разделяются на четыре группы: низкообеспеченные, содержащие менее 10 мг/кг; слабообеспеченные – 11-25; среднеобеспеченные – 25-50; хорошообеспеченные – более 50 мг/кг. Для решения проблемы магниевого питания растений необходимо учитывать все факторы, имеющие отношение к количеству, состоянию и подвижности элемента в почве. А. Kiss (1936) разработал модель этих составляющих (рис. 64). Изменение доли участия каждого из представленных в этой модели факторов сказывается на степени обеспеченности растений магнием.

Магний в почве удерживается почвенным поглощающим комплексом так же, как другие катионы, соответственно своей валентности и гидратации, и может эквивалентно обмениваться с другими основаниями. Он является не

только необходимым элементом питания растений, но и влияет на физические свойства и биологическую активность почвы. Под воздействием магния существенно активизируется жизнедеятельность гнилостных бактерий, увеличивается заселенность почвы грибами и актиномицетами, повышается численность нитрификаторов и целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Последнее свидетельствует о повышении интенсивности распада органических остатков, а, следовательно, и улучшении питания растений.

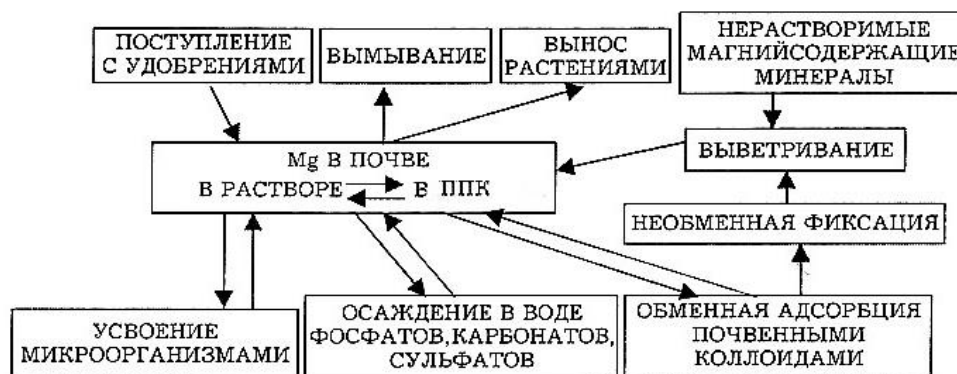


Рис. 64. Схема трансформации магния в почве

В то же время избыточное содержание магния в почвенном поглощающем комплексе ведет к ухудшению водно-физических свойств и структуры почвы, снижению биопродуктивности, а в некоторых случаях – к образованию магниевых солонцов. Кроме того, ионы магния обладают слабой способностью специфически адсорбироваться почвами с вытеснением ионов водорода, связанных с поверхностными функциональными группами слабокислой природы.

6.8.7. Сера

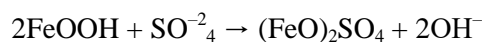
Кларк серы в земной коре равен 0,05 %, почве – 0,05, морской воде – 0,09, растениях – 0,05, животных – 0,16 %. Общее содержание серы в почве колеблется от 0,001 до 0,5 %. Наименьшая концентрация и запасы этого элемента свойственны малогумусным песчаным и супесчаным почвам. Наиболее высокие эти показатели у торфянистых почв и торфяников. Сера в почвах представлена как органическими, так и неорганическими соединениями. Соотношение их зависит от типа почвы и глубины залегания генетического горизонта. Встречается в почвах и элементарная сера; она может быть продуктом трансформации серосодержащих соединений или унаследована от материнской породы. В верхних горизонтах почв на долю органических соединений приходится до 70–80 % всех запасов серы. Доля ее минеральных соединений нарастает по мере уменьшения запасов гумуса, повышения минерализации почвенно-грунтовых вод и накопления в почвах гипса.

Неорганическая сера в почве представлена сульфатами почвенного раствора, адсорбированными сульфатами, сульфидами и серой минералов. Сульфаты почвенного раствора доступны для растений.

Основные поступления серы в почву происходят с пылью и кислыми дождями, причем, с пылевой фракцией поступает в десятки раз больше, чем с

дождями. Часть серы, поступившей в почву из атмосферы, закрепляется в подстилке, часть мигрирует вниз по профилю. В среднем количество поглощенной подстилкой серы может составлять до одной трети от количества элемента, поступившего с атмосферными осадками.

Поступающий с осадками сульфат-ион SO_4^{2-} поглощается живыми организмами, а при избытке анионов - взаимодействует с твердой фазой почвы. Избыток сульфат-ионов может поглощаться путем хемосорбции на оксидах железа и алюминия, при этом выделяется OH^- , нейтрализующий H^+ :



Органическую серу можно разделить на восстановленную, серу эфиров серной кислоты, а также связанную с углеродом и неидентифицированные органические соединения. К числу серосодержащих соединений органического вещества почвы относятся аминокислоты цистин, цистеин и метионин, а также витамины тиамин и биотин, содержащие серу в кольце молекулы.

Трансформация соединений серы в почве обусловлена процессами минерализации, иммобилизации, окисления и восстановления.

Органические и минеральные формы под влиянием деятельности микроорганизмов подвергаются в почве различным превращениям (рис. 65; Шипунов Ф.Я., 1980).

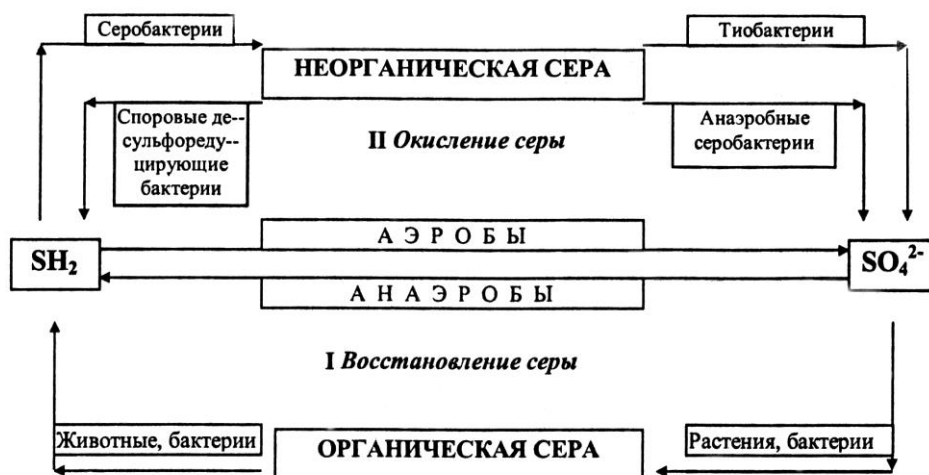


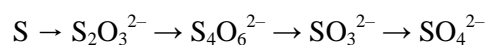
Рис. 65. Биогеохимический цикл серы

I – минерализация органической серы живыми организмами до H_2S ;
II – десульфификация

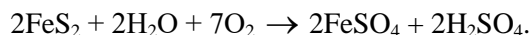
Направление трансформаций соединений серы регулируется в основном факторами внешней среды. Органические соединения могут быть разрушены и минерализованы. В определенных условиях восстановленные неорганические соединения серы подвергаются окислению микроорганизмами, а окисленные соединения, напротив, могут быть восстановлены до сероводорода (H_2S).

Потери серы из почвы происходят за счет микробиологического восстановления сульфатов до летучих газообразных соединений типа сероводорода, дисульфида углерода. Сульфиды и элементная сера постепенно окисляются кислородом воздуха; в аэробных условиях в окислении принимают участие

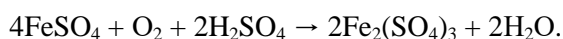
различные группы тионовых и серобактерий. Элементарная сера появляется в почвах как промежуточный продукт окисления сульфидов железа или вносится с химическими загрязняющими веществами. Окисление серы в почвах протекает ступенчато, причем конечным продуктом является серная кислота или сульфаты:



Окисление пирита кислородом воздуха также приводит к накоплению серной кислоты:

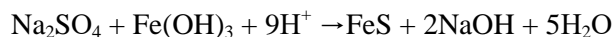


С помощью бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* сульфат железа (II) окисляется до $Fe_2(SO_4)_3$:



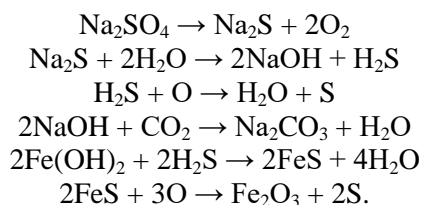
Активными окислителями являются следующие группы микроорганизмов: 1) тионовые бактерии, представленные четырьмя родами: *Thiobacillus*, *Thiomicrospira*, *Thiodendron* и *Sulfolobus*; 2) одноклеточные и многоклеточные (нитчатые) формы, образующие трихомы и относящиеся к родам *Achromatium*, *Thiobacterium*, *Thiospira*, *Beggiatoa*, *Thiothrix* и *Thioploca*; 3) фотосинтезирующие пурпурные и зеленые серобактерии, а также некоторые цианобактерии; 4) хемоорганогетеротрофные организмы из родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, актиномицеты и грибы (*Penicillium*, *Aspergillus*).

В плохо аэрируемых, затопляемых почвах, с дефицитом кислорода, а также в водах в зоне анаэробнозиса происходит микробиологическое восстановление сульфатов; при одновременно подщелачивании среды:



Деятельность сульфатредуцирующих бактерий приводит к накоплению в почвах сульфидов железа и соды.

В илах, обогащенных органическим веществом, протекают следующие реакции:



Бактерии, вызывающие восстановление сульфатов, разделяют на два рода: неспорообразующие *Desulfovibrio* и спорообразующие *Desulfotomaculum*.

Сульфатредуцирующие бактерии – весьма специализированная группа микроорганизмов, которая использует сульфат в качестве акцептора окисления органических соединений или водорода.

Основным источником серы, поступающей в почвенный раствор, является органическое вещество, в процессе минерализации которого высвобождается данный элемент. Отношение углерод:сера в органическом веществе почвы колеблется в пределах 80–100. При его минерализации сера высвобождается несколько быстрее, чем азот. Отношение азот:сера в почве варьирует от 10 до 6,7.

Сульфидная сера неорганических соединений и сера органического вещества доступны растениям только после превращения в сульфаты.

В почвах с непромывным водным режимом и при аэробных условиях сера накапливается или в виде гипса, или в составе легкорастворимых солей. При умеренном содержании гипс положительно влияет на свойства почв и даже используется для мелиорации солонцов, а при высоких уровнях накопления образует плотные гипсовые горизонты, что резко ухудшает физические свойства почв. Сульфаты магния и натрия – важнейшие компоненты засоленных почв, отрицательно влияющие на их плодородие.

В анаэробных условиях образование сероводорода ведет к снижению продуктивности почв. Восстановительные зоны можно рассматривать как геохимические барьеры для железа и многих других металлов, образующих труднорастворимые сульфиды. Сульфатредукция способствует увеличению щелочности и развитию солонцеобразования.

В почвах, подверженных техногенному загрязнению, происходит значительное возрастание не только валового содержания серы, но также и водорастворимых сульфатов. При загрязнении почв серой резко увеличивается число сероокисляющих микроорганизмов *Thiobacillus novellus* и сероокисляющих грибов, что служит хорошим индикатором загрязнения биосферы соединениями серы (Гусакова Н.В., 2004).

6.8.8. Железо

Железо относится к числу сидерофильных элементов (типичных металлов), имеющих химическое сродство к углероду (с образованием карбонатов), к фосфору (фосфаты), к сере (сульфаты, сульфиды) и кремнию, (силикаты). При окислительном выветривании и почвообразовании образуются и накапливаются в биосфере минералы железа (III), преимущественно оксиды и гидроксиды, слабо растворимые и геохимически относительно инертные. Железо – один из главных компонентов литосферы. Его кларк в земной коре равен 5 %, почве – 3,8, морской воде – $5 \cdot 10^{-6}$, растениях – 0,02, животных – 0,01 %. Общее содержание железа в почве зависит от ее происхождения и колеблется в пределах 0,02–10 %. Оно присутствует в виде оксидов, гидроксидов, силикатных минералов, аморфных оксидов, адсорбированного железа, комплексов с органическими соединениями и в растворенной форме. Различные соединения железа играют существенную и весьма сложную роль в почвенных процессах в связи со способностью элемента менять степень окисления с образованием соединений различной растворимости, окисленности, подвижности.

Почвенно-геохимическая судьба соединений железа обусловлена кислотнo-основными, окислительно-восстановительными условиями, аэрированностью и увлажненностью почвы. Восстановление железа происходит при E_h ниже +300 - +400 мВ. В автоморфных почвах, как правило, преобладают соединения трехвалентного железа при значениях E_h около +400 - +650 мВ; в гидроморфных почвах, если E_h опускается до +300 - +400 мВ, представлены либо обе формы железа, либо железо (II).

Биогеохимический цикл соединений железа Н.В. Гусакова (2004) представляет следующим. Выветривание и почвообразование сопровождаются десиликацией пород и потерей оснований, окислением соединений железа, образованием осадков оксидов и гидроксидов. Во влажных субтропиках образуются кислые коры выветривания (красноземы, бокситы), обогащенные окисленными соединениями железа. При развитии восстановительных про-

цессов активизируется геохимическая миграция железа в виде хелатных соединений, гидрокарбонатов, сульфатов.

Существенную, если не основную, роль в трансформации железа в природе, в частности, в переводе нерастворимых соединений в растворимые и обратно, играют микроорганизмы. Схема превращения соединений железа в почвах показана на рисунке 66 (Schwertmann U., Taylor R.B., 1977).

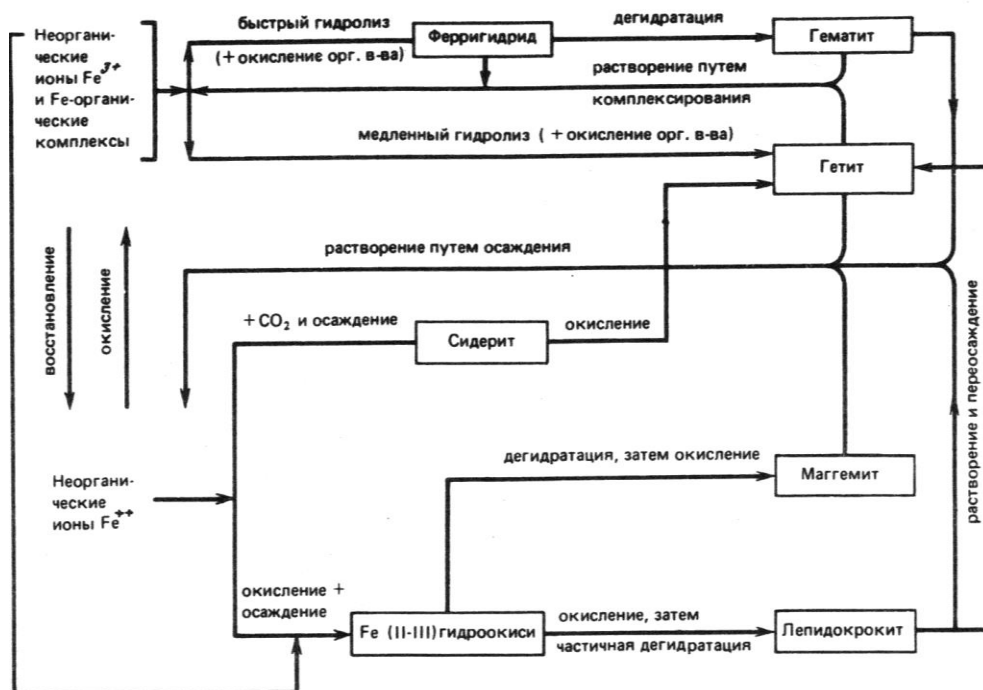


Рис. 66. Трансформация железа в почвах

Участие микроорганизмов в превращении железа в почвах может быть прямым (окисление) и косвенным (за счет создания окислительно-восстановительного потенциала и pH среды). В процессах окисления и восстановления железа в почвах участвуют различные группы микроорганизмов. Среди железобактерий известны истинные бактерии, флексибактерии*, нитчатые, цианобактерии** и микоплазмы***. У одних функция окисления железа связана с получением энергии и процесс протекает только в условиях кислой среды; у других превращение железа – побочный процесс, имеющий, однако, важный физиологический смысл – удаление токсичной H_2O_2 ; у третьих эта функция сопряжена с разложением железогумусовых комплексов и отложением железа на

* Флексибактерии – бактерии способные в процессе перемещения по твердому субстрату периодически путем изгибания менять форму клеток.

** Цианобактерии – организмы, сочетающие прокариотное строение клетки, характерное для всех бактерий, со способностью осуществлять фотосинтез, сопровождающийся выделением кислорода.

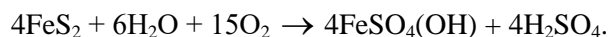
*** Микоплазма – латентная, симбиотическая форма вида *Puccinia*, которая может существовать в семенах и давать мицелий, когда семя развивается в растение; при развитии растения мицелий переходит в его ткани и распространяется по всем органам.

клетках или же с извлечением железа из минералов и образованием хелатных форм соединений. В качестве редуцирующих агентов могут выступать не только сами микроорганизмы, но и выделяемые ими в среду продукты метаболизма.

С водными потоками геохимически активные соединения железа интенсивно мигрируют, но при смене теплового, окислительно-восстановительного, кислотного-основного режимов, минерализации органического вещества соединения железа осаждаются и аккумулируются. Выветривание, переувлажнение, кислотно-анаэробное почвообразование способствуют пополнению запасов подвижных соединений железа. Растворимое железо составляет незначительную часть его валового запаса в почвах. Растворимые неорганические формы представлены Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$ и $\text{Fe}(\text{OH})_4^{2-}$. Содержание подвижного железа в почве зависит от величины pH и окислительно-восстановительного режима.

С развитием восстановительных процессов подвижность железа в почвах возрастает. *Содержание подвижного железа в кислых переувлажненных почвах может достигать токсичных для растений значений, а щелочные хорошо аэрируемые почвы, наоборот, не могут удовлетворить их потребности в этом элементе. Однако в восстановленной среде при значениях Eh порядка 100–200 мВ и ниже двухвалентное железо осаждается слоями в рудообразной форме и становится недоступным для растений.* Такое явление можно наблюдать в условиях заболоченных почв и на рисовых полях. В условиях орошаемого земледелия наблюдается обеднение корнеобитаемого слоя железом из-за перемещения подвижных его форм вниз по профилю почвы. Недостаток в железе растения могут испытывать также из-за антагонизма между марганцем и железом, фосфором и железом, а также кальцием и железом. Поглощение железа растениями резко снижается при высоком содержании в почве названных элементов.

Аэрация восстановленных горизонтов почвы приводит к реакциям окисления; при этом присутствующие в почве сульфиды железа преобразуются в сульфаты железа с одновременным образованием серной кислоты:



В таких средах значения pH могут опускаться до 2,5–3,0. Серная кислота разрушает карбонаты с образованием гипса, сульфатов магния и натрия. Периодическая смена окислительно-восстановительных условий среды приводит к декарбонизации почв, дальнейшему развитию устойчивой кислой среды с pH 4–2,5, причем соединения железа накапливаются в поверхностных горизонтах. Гидроксиды и оксиды железа при образовании осадков легко захватывают и связывают никель, кобальт, медь, хром, ванадий, мышьяк.

Таким образом, с увеличением кислотности почвы подвижность железа возрастает и, наоборот, с возрастанием щелочности – снижается. Именно поэтому кислые почвы более богаты подвижными формами железа, чем нейтральные и щелочные.

Повышение окислительно-восстановительного потенциала благоприятствует окислению и тем самым фиксации железа. Интенсивная аэрация почвы усиливает этот процесс.

6.8.9. Алюминий

По распространенности в природе алюминий занимает третье место после кислорода и кремния и первое – среди металлов. Его кларк в земной коре равен 7,45 %, почве – 7,12, морской воде – $1 \cdot 10^{-6}$ %, растениях – 0,02, животных – $1 \cdot 10^{-5}$ %. В свободном виде алюминий в силу

своей химической активности не встречается. Известно несколько сотен минералов алюминия. Важнейшее из них бокситы, алунит, каолин, нефелин. Он входит в состав многочисленных полевых шпатов: ортоклаза, альбита, а также цеолита, слюд. Для алюминия характерна отчетливо выраженная концентрационная дифференциация в зависимости от породы. Ультраосновные породы содержат в среднем около 0,45 % алюминия, а в осадочных породах (глинах, сланцах) его количество возрастает до 10-11 %. Кислые, средние и основные породы (граниты, диориты, базальты) занимают промежуточное положение – 7-9 %.

Геохимические особенности алюминия определяются его большим сродством к кислороду (в минералах алюминий входит в кислородные октаэдры и тетраэдры), постоянной валентностью (+3), слабой растворимостью большинства природных соединений. В эндогенных процессах при застывании магмы и формировании изверженных пород алюминий входит в кристаллическую решетку полевых шпатов, слюд и других минералов – алюмосиликатов. В биосфере алюминий – слабый мигрант, его мало в организмах и гидросфере. Схема биогеохимического круговорота алюминия представлена на рисунке 67 (Орлов Д.С., Безуглова О.С., 2000).

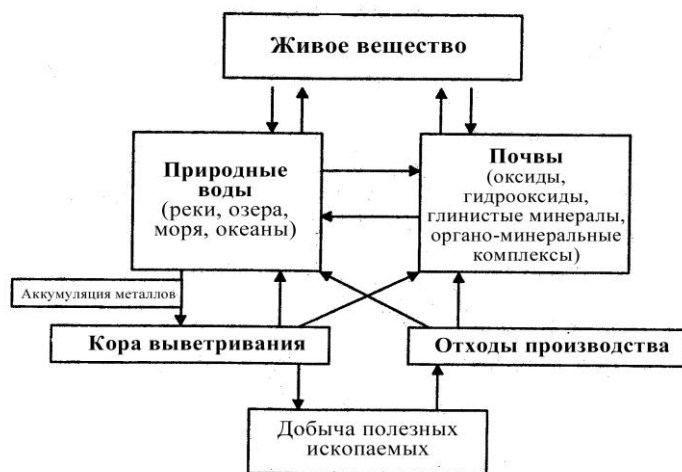


Рис. 67. Биогеохимический круговорот алюминия

В гумидных ландшафтах алюминий входит в состав органо-минеральных коллоидов почв, Al^{3+} сорбируется глинами и гумусом. Под защитой органических коллоидов алюминий мигрирует и в болотных водах. Связь с кремнием при этом частично нарушается, что приводит к образованию гидроксидов алюминия, минералов бемита и гидраргиллита. Все же значительная часть алюминия остается в составе каолинита и других глинистых минералов. Слабая подвижность этого элемента определяет остаточное накопление его гидроксидов в коре выветривания влажных тропиков и образование бокситов. Миграция алюминия в меньшей степени зависит от окислительно-восстановительных условий, т. к. он обладает постоянной валентностью. В то же время амфотерность этого элемента обеспечивает его зависимость от кислотно-основных условий среды: в сильно кислой среде он ведет себя как катион, а в сильно щелочной – образует анионные комплексы. В нейтральных и слабощелочных водах степей и пустынь он практически не мигрирует, наиболее высока подвижность алюминия в сильно кислых водах вулканических районов и зон окисления сульфидов. В сильнощелочных термальных и холодных содовых водах этот элемент интенсивно мигрирует в анионной форме AlO_2^- . С этими процессами связано образование давсонита $[NaAl(CO_3)(OH)_2]$ и других минералов алюминия, местами формирующих крупные залежи.

Содержание алюминия в почвах обусловлено главным образом присутствием полевых шпатов и глинистых минералов и отчасти слюд, эпидотов, граната, корунда и других богатых алюминием первичных минералов. Может присутствовать и свободный глинозем в виде разнообразных гидроксидов алюминия (бемит, диаспор, гидраргиллит) в аморфной или кристаллической форме. Валовое содержание алюминия в почвах обычно колеблется от 1-2 до 15-20 %, а в ферраллитных почвах тропиков и бокситах может превысить 40 %.

На содержание алюминия определенным отпечаток накладывает почвообразовательный процесс. В зависимости от типа почвы меняется как среднее содержание этого элемента в почвенной толще, так и его распределение по генетическим горизонтам. Значение алюминия в почвообразовании и плодородии почв, согласно Д.С. Орлову (1985), определяется следующими положениями: 1) высокое содержание алюминия в почвах и его участие в формировании алюмосиликатов обуславливает его ведущую, наряду с Si, O и C, конституционную роль. Следует упомянуть, что алюмосиликаты – наиболее распространенные минералы, составляющие до 85 % массы земной коры. При этом какое-либо специфическое влияние алюминия на морфологические признаки почв не выражено; 2) алюминий обладает достаточно высокой реакционной и миграционной способностью и образует многообразные формы соединений. Он активно участвует в перераспределении вещества по почвенному профилю, а его соединения и характер их распределения могут быть использованы для диагностики почв и некоторых процессов; 3) алюминий участвует в формировании потенциальной (обменной и гидролитической) кислотности почв; 4) повышенное содержание подвижных соединений алюминия небезразлично для растений; в их присутствии образуются труднорастворимые фосфаты алюминия, фосфор которых при старении и кристаллизации осадков становится мало доступным растениям. Кроме того, алюминий токсичен для многих растений: уже при концентрации его в растворе, равной 2 мг/л, наблюдается резкое ухудшение развития корневой системы, нарушается углеводный, азотный и фосфатный обмен. Более высокие концентрации алюминия вызывают резкое снижение урожая зерновых культур и даже их гибель.

С.В. Зонн и А.П. Травлев (1992), рассматривая роль алюминия в почвообразовании, делают три концептуальных вывода: 1) темпы высвобождения оксидов алюминия из минералов обуславливаются снижением увлажнения и тепла вплоть до пустынных карбонатно-щелочных и глеево-кислых почв тундры; 2) одними из ведущих факторов, влияющих на высвобождение оксидов алюминия, являются организмы и их мортмасса. Со снижением тепла и повышением атмосферного увлажнения возрастает продуцирование гумусовых кислот, усиливается образование алюмофульватных соединений, приобретающих подвижность и повышенный вынос, чем определяется относительное накопление гумусо-железистых соединений кварца и кремнезема в почвах ниже гумусово-аккумулятивного горизонта. При повышении гидротермических показателей возрастает вынос всех соединений, включая SiO₂; Al- и Fe-оксиды снижают подвижность, несмотря на относительно большее увлажнение. При высоких термических (степных, пустынных) режимах оксиды алюминия наименее активны. Высвобождение их из минералов затухает, и они теряют свое диагностическое значение; 3) высотный (вертикальный) фактор в пределах субтропической и тропической зон усиливает аллитизацию, интенсифицирует воздействие гумусовых и других кислот. В полярных и умеренно-полярных условиях вынос алюминия и железа усиливается, чем и обуславливаются различия в относительном повышении диоксида кремния в верхней толще почв.

Алюминий в почвах представлен соединениями с резко различной растворимостью, а для почв гумидных областей (подзолистые, дерново-подзолистые, желтоземы) характерно присутствие не только легкорастворимого, но и обменного алюминия. Возможные формы соединений алюминия в почвах очень разнообразны. Это оксиды и гидроксиды алюминия; содержащие алюминий минералы-соли; простые и комплексные соединения алюминия с органическими веществами и, наконец, алюмосиликаты.

С.В. Зонн и А.П. Травлев (1992) выделяют следующие группы и формы соединений алюминия в почвах:

А. Основные, или первичные, группы соединений алюминия.

1. Силикатные, входящие в состав первичных минералов.
2. Несиликатные (свободные), высвобождающиеся при выветривании из первичных минералов, которые состоят из:

- а) окристаллизованных оксидов и гидроксидов;
- б) аморфных – первичных оксидов.

В. Производные соединения алюминия.

1. Органо-минеральные комплексы.
2. Экстрагируемые, или активные, подразделяемые на:
 - а) алюмоорганические соединения или комплексы;
 - б) обменные;
 - в) необменные.

Содержание тех или иных групп и форм алюминия в почвах и их соотношения имеют большое значение для установления направления и интенсивности почвообразовательного процесса. Соединения алюминия в одних почвах могут быть как бы законсервированными карбонатно-кальциево-магниевыми оболочками и находиться в неизменном состоянии, пока существует

их защита. Другие почвы содержат преимущественно в различной степени окристаллизованные оксиды и гидроксиды алюминия, а также в различных соотношениях слабо окристаллизованные и аморфные формы окисного типа. Эти последние составляют преимущественно илистую и коллоидную фракции почв. В процессе почвообразования в них образуются подвижные ионные фракции алюминия: экстрагируемые, обменные и необменные формы, находящиеся в физико-химических связях с дисперсной частью почв. Несиликатные формы соединений алюминия переходят в почвенный раствор в результате разрушения минералов или замещения ионов алюминия другими катионами при воздействии нейтральных и сильноокислых растворов.

В зависимости от физико-химических условий среды и формы соединений алюминий по-разному мигрирует и аккумулируется в почвах. Высвобождение алюминия при деструкции минералов может происходить либо в результате усиленного выноса всех остальных более подвижных в соответствующих условиях химических элементов, либо вследствие разрушающего воздействия на алюмосиликаты микробных метаболитов, образующих с алюминием комплексные соединения. В первом случае алюминий может накапливаться в виде минерального остатка, в последнем же он сразу подвергается хелатизации, связывается в металлоорганический комплекс и приобретает подвижность.

Подвижность алюминия в почвах обусловлена в значительной степени его способностью к образованию органо-минеральных комплексов, в составе которых он может мигрировать в широком диапазоне pH. В основе механизма мобилизации алюминия из кристаллических решеток алюмосиликатов часто лежат реакции хелатизации. Образующиеся при этом алюмоорганические соединения широко распространены в природе, их появление в почвах – результат воздействия продуктов разложения растительных остатков и специфических гумусовых кислот на алюмосиликаты почвообразующей породы. В подзолистых почвах они присутствуют в форме органо-минеральных комплексов, образованных алюминием с гумусовыми кислотами. В иллювиальных горизонтах подзолов в значительных количествах закрепляются и накапливаются алюмоорганические соединения фульвокислот.

Комплексные соединения алюминия не только постоянно образуются в профиле почвы в результате взаимодействия продуктов превращения растительных остатков с алюмосиликатами породы, но и поступают в нее уже в готовом виде с растительным опадом.

Поступившие в почву и образовавшиеся в ней алюмоорганические соединения в зависимости от конкретной экологической обстановки могут либо минерализоваться, либо выноситься за пределы почвенного профиля, либо консервироваться и закрепляться в составе гумусовых веществ. В почвах влажных тропиков преобладают процессы минерализации и выноса алюмоорганических комплексов, а в почвах подзолистой зоны достаточно хорошо выражены процессы их консервации. Согласно воззрениям автора, разложение низкомолекулярных комплексных соединений алюминия и алюмоорганических комплексов фульвокислот происходит под влиянием микроорганизмов. Участие микроорганизмов в цикле превращения алюминия, который включает несколько процессов: мобилизацию алюминия из первичных и вторичных минералов, разложение (минерализацию) алюмоорганических соединений и аккумуляцию гидроксида алюминия, представлено на рисунке 68 (Бабьева И.П., Зенова Г.М., 1989).

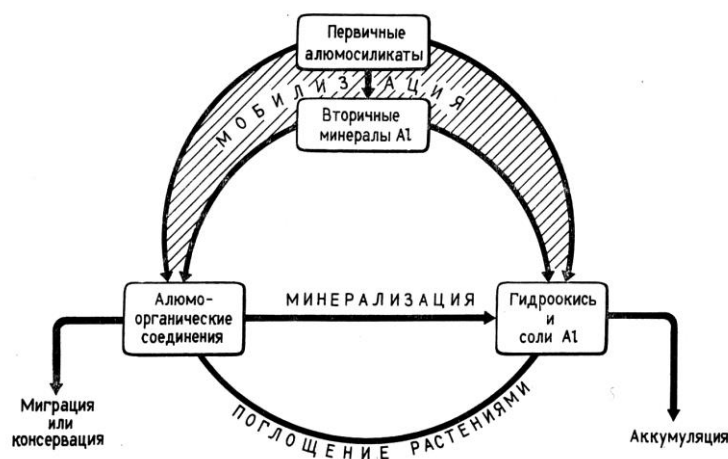
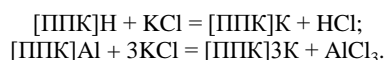


Рис. 68. Цикл превращения алюминия в почвах

Процессы минерализации алюмоорганических комплексных соединений связаны с жизнедеятельностью грибов и микроорганизмов группы микоплазм – *Metallogenium*. В присутствии органико-минеральных соединений алюминия или железа гифы грибов *Penicillium sp.* в симбиозе с *Metallogenium* покрываются отложениями гидроксидов соответствующего металла. Один из важных механизмов мобилизации алюминия из кристаллических решеток алюмосиликатов – хелатизация. В этом процессе участвуют, с одной стороны, агрессивные продукты микробного синтеза и микробного разложения растительных остатков, с другой – специфические органические вещества почвы – гумусовые кислоты. Образующиеся алюмоорганические соединения широко распространены в почвах. Эти соединения не только образуются в самой почве, но и поступают в нее с растительными остатками в виде комплексов алюминия с органическими кислотами, аминокислотами и белками. Далее в зависимости от экологических условий эти соединения в почве претерпевают различные превращения: выносятся за пределы почвенного профиля, минерализуются, закрепляются в составе гумусовых веществ.

Рассматривая вопросы, связанные с содержанием алюминия и трансформацией его соединений в почвах, нельзя обойти проблему кислотности почв и роли в ней ионов алюминия и водорода. В настоящее время различают следующие формы почвенной кислотности: 1) актуальная кислотность; 2) потенциальная кислотность, которая подразделяется на обменную и гидролитическую. Актуальная кислотность обусловлена наличием в почвенном растворе угольной кислоты, органических кислот, гидролитически кислых солей, а также других компонентов, проявляющих кислые свойства. В числе последних наибольшее влияние оказывают ионы алюминия, причем его кислотные свойства соизмеримы с кислотными свойствами таких кислот, как угольная и уксусная. Обменная кислотность обусловлена обменно-поглощенными катионами водорода и алюминия и проявляется при действии растворов нейтральных солей:



При этом хлорид алюминия подвергается гидролитической диссоциации с образованием слабого основания и сильной кислоты, которая также подкисляет почвенный раствор. Тем самым алюминий также участвует в формировании гидролитической кислотности.

6.8.10. Натрий

Натрий – типичный литотрофный элемент. Его кларк в земной коре равен 2,6 %, почве – 0,63, морской воде – 1,06, растениях – 0,02, животных – 0,1 %. В кислых изверженных породах граниты содержат натрия 2,77 %, в основных (базальты) – 1,94, в ультраосновных (породы мантии) – 0,57 %. Соответственно, масса натрия в гранитном слое равна $165 \cdot 10^{15}$ т, в осадочной оболочке – $26,7 \cdot 10^{15}$ т.

Благодаря изоморфизму Na^+ и Ca^{2+} , обусловленному близостью их ионных радиусов, в магматических породах образуются натриево-кальциевые полевые шпаты (плагноклазы). В зоне гипергенеза этот изоморфизм не характерен. Общее число натрийсодержащих минералов превышает 200, преобладающая часть из них гипогенные: галит (каменная соль), чилийская селитра, тенардит, мирабилит, трона. В биосфере происходит резкая дифференциация натрия: осадочные породы в целом им обеднены (в глинах и сланцах 0,66 %), но в соленосных породах натрий накапливается. По многим особенностям миграции в биосфере натрий напоминает хлор: он одновалентен, с основными анионами природных вод (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) образует легкорастворимые соли, участвует в атмосферной миграции ("циклические соли"), накапливается в конечных водоемах стока – Мировом океане, бессточных озерах, зоне замедленного водообмена артезианских бассейнов. Однако значительно более высокий кларк натрия в литосфере и катионная природа обуславливают и существенные отличия его от хлора.

Ион натрия в поверхностных и подземных водах широко распространен в соединении преимущественно с хлором, реже в соединении с сульфатным ионом SO_4^{2-} и еще реже с HCO_3^- . Натрий присутствует в подземных водах в результате: 1) выветривания изверженных горных пород; 2) выщелачивания отложений каменной соли и отдельных рассеянных кристаллов соли из засоленных пород; 3) вытеснения его из почвенно-поглощающего комплекса из глинистых отложений другими катионами и, в первую очередь, кальцием.

Основной источник подвижного натрия в биосфере – выветривание изверженных пород, а не вулканизм, как у хлора. В отличие от хлора большая часть натрия на материках сосредоточена в горных породах и коэффициент его водной миграции в сотни раз меньше, чем у хлора. Если бы натрий по интенсивности водной миграции был аналогичен хлору, то в водах Мирового океана и аридных районах не хватило бы анионов Cl^- , SO_4^{2-} и CO_3^{2-} для его нейтрализации. Это привело

бы к изменению диссоциации воды, увеличению количества OH^- за счет H^+ ; воды стали бы резкощелочными. Для натрия характерна сравнительно слабая роль биологического круговорота в ландшафтах и большое значение водной миграции. В этом отношении он также напоминает хлор. В целом натрий теряется ландшафтами и концентрируется в морях и океанах, а частично и в бессточных областях суши. В океанической воде 1,035 % натрия. Он – характерный талассофил (талассофильность характеризуется величиной отношения кларка концентрации элемента в океане относительно кларка в земной коре). Талассофильность натрия равна 0,42, значительно превосходит в этом отношении магний, кальций, калий и другие катионы.

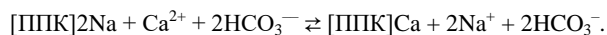
В цикле массообмена между поверхностью океана и тропосферой участвует около $1,3 \cdot 10^9$ т/год водорастворимых форм натрия, между поверхностью суши и тропосферой – примерно $1,14 \cdot 10^9$ т/год. С воздушными массами морского происхождения на сушу переносится свыше $0,1 \cdot 10^9$ т/год растворимых форм натрия. В то же время с поверхности суши в океан выносятся с ветровой пылью примерно $0,01 \cdot 10^9$ т/год натрия в сорбированном состоянии.

Техногенез внес существенные коррективы в биогеохимические пути миграции натрия. Основное значение имеет добыча поваренной соли, а также соды, мирабилита. Такое явление, как орошение земель в засушливых регионах, в определенной степени также влияет на характер биогеохимических циклов натрия.

В почве натрий главным образом присутствует в составе первичных минералов, преимущественно в натрийсодержащих полевых шпатах: содержание натрия в отдельных составляющих крупной фракции может достигать 5–6 %, тогда как в илстой фракции не превышает 0,5–1,0 %. В засоленных почвах сухостепной и аридных зон натрий в значительных количествах может присутствовать в виде хлоридов или входить в поглощающий комплекс почв, в связи с чем содержание этого элемента возрастает до нескольких процентов. При натриевом засолении катион Na^+ вытесняет Ca^{2+} и Mg^{2+} из почвенно-поглощающего комплекса, последний приобретает существенно натриевый состав. Содержание обменного натрия в таких почвах местами достигает 70–80 % от суммы обменных катионов.

Натрий присутствует в почвах в необменной, обменной и водорастворимой формах. В большинстве почв основная масса этого элемента представлена в необменной форме. Натрий входит в значительных количествах в состав почвенного поглощающего комплекса только в солонцах и в засоленных почвах. В составе почвенного раствора натрий обычно преобладает над калием. В почве дефицита этого элемента обычно не наблюдается; присутствие натрия в повышенных количествах в составе подвижных соединений обуславливает наличие у почв неблагоприятных физических и химических свойств. В частности, высокое содержание натрия в поглощающем комплексе почв способствует диспергации почвенных агрегатов и образованию солонцов. Натрий принимает активное участие в засолении почв, в которых он образует соли с анионами HCO_3^- , Cl^- и SO_4^{2-} . При этом сода (Na_2CO_3) придает почве сильно щелочную реакцию (рН 8,5 и выше), вредную для растений.

Процесс вхождения натрия в поглощающий комплекс почв и глин был изучен К.К. Гедройцем в 1912 г. и получил наименование *осолонцевания*. Натриевый поглощающий комплекс ($\text{Na} > 30$ % от суммы поглощенных катионов) характерен для многих солончаковых почв и илов соляных озер, в то время как элювиальные почвы степей и пустынь имеют существенно кальциево-магниевый поглощающий комплекс ($\text{Na} < 30$ %, часто менее 5 %). Периодическая смена засоления рассолением, а также отрыв почвы от грунтовых вод приводят к выщелачиванию из нее легкорастворимых солей, но натрий в поглощающем комплексе часто сохраняется. Эти процессы особенно характерны для террас рек в аридных районах. Незасоленная или слабозасоленная почва, содержащая много обменного натрия в ППК, была названа К.К. Гедройцем (1955) *солонцом*. Вхождение натрия в поглощающий комплекс, в представлении А.И. Перельмана (1972), определяет многие особенности солонцов – высокую гидрофильность коллоидов, их способность пептизироваться, образование соды в результате обменных реакций:



Поэтому в почвенном растворе солонцов имеется сода, реакция их щелочная – рН более 8,5, иногда до 10–11.

6.8.11. Хлор

Кларк хлора в земной коре равен $4,5 \cdot 10^{-2}$ %, почве – 0,01, морской воде – 1,89, растениях – $1 \cdot 10^{-2}$, животных – 0,08 %. Вследствие высокой реакционной способности хлор в элементарном состоянии встречается только в вулканических газах. В связанном виде он находится в горных породах, в морской, речной и озерной водах, в растительных и животных организмах.

Для хлора в зоне гипергенеза не характерны физико-химические барьеры, он очень энергичный водный мигрант. Только в сухом климате хлор накапливается на испарительном барь-

ере. Его распределение в биосфере характеризуется ясно выраженной аккумуляцией в воде Мирового океана, в которой в форме растворенных ионов Cl^- содержится преобладающая часть массы элемента.

В результате работы воды, разрушавшей горные породы и вымывавшей из них все растворимые составные части на протяжении миллионов лет, соединения хлора скапливались в морях. Общее содержание сухого вещества организмов, находящихся в морской и океанической водах, составляет около 3,4 %, а связанного в нем хлора около 1,9 %. В речной воде концентрация связанного хлора колеблется от 2 до 600 мг/л.

В гумидные ландшафты хлор поступает из горных пород и с атмосферными осадками. В биологическом круговороте и на физико-химических барьерах он не задерживается и с речным стоком выносится в моря. Реки и озера таких районов бедны хлором. Обогащение ландшафта хлором здесь возможно в результате его привноса атмосферными осадками с близлежащих морей. Однако большинство гумидных ландшафтов бедно хлором, воды им не насыщены, минералы не образуются. В аридных ландшафтах хлор нередко является ведущим элементом. Большую роль в его миграции играет ветер, переносящий соленую пыль с солончаков, а также акваторий морей и соленых озер. На протяжении года из океана в атмосферу поступает $2,4 \cdot 10^9$ т хлора (с учетом сухих осаджений), а возвращается с осадками и в форме сухих осаджений $2,2 \cdot 10^9$ т. Разница в $0,2 \cdot 10^9$ т/год обязана переносу с воздушными массами на сушу и выпадению там соединений этого элемента. Таким образом, значительная масса хлора циркулирует в системе суша–океан–суша. В живом веществе суши находится $5 \cdot 10^9$ т, в биомассе фитосинтетиков – $0,17 \cdot 10^9$ т хлора. Концентрация рассматриваемого элемента в неживом органическом веществе педосферы и гумусе примерно равна 0,01 %, следовательно, масса хлора в педосфере составляет около $0,3 \cdot 10^9$ т. В биологический круговорот на суше захватывается около $0,34 \cdot 10^9$ т/год хлора (Добровольский В.В., 1998).

Химия соединений хлора в биосфере сравнительно проста. Практически все встречающиеся в почвах хлориды легко растворимы: NaCl , KCl , CaCl_2 , MgCl_2 . Растворимы также хлориды большинства микроэлементов, за исключением хлоридов серебра и ртути. Повышенная растворимость объясняет легкость, с которой хлор вымывается из хорошо дренированных почв влажных районов. Почвы, которые содержат растворимые соли, обычно имеют большое количество хлоридов в растворе. Такие соединения очень подвижны, они передвигаются вниз во время дождя и вверх – при испарении воды с поверхности почвы. Движение воды вверх способствует образованию засоленных почв в засушливых районах. При испарении на поверхности почвы остается достаточное количество солей (включая хлориды), которые образуют белые корки в засушливые периоды. В природной обстановке хлориды в значительных количествах накапливаются только в засоленных почвах, преимущественно в регионах с аридным климатом. Однако широкое применение хлорида натрия для очистки автострад от снега и льда и в других технических целях привело к тому, что даже в условиях влажного климата хлорид-ион стал входить в число наиболее распространенных загрязняющих веществ.

В почвах различают: 1) хлор в составе почвенных минералов; 2) хлор, удерживаемый в почве в виде обменного аниона; 3) хлор, присутствующий в почвенном растворе; 4) хлор, входящий в состав органических соединений.

Ионы хлора Cl^- имеют тот же заряд и почти такой же размер, что и гидроксильные ионы, поэтому хлор замещает гидроксильные ионы в минеральных структурах. Значительные количества хлора связаны с органическим веществом. Как правило, органогенные почвы имеют повышенную плотность положительных зарядов, что позволяет им удерживать хлорид-ионы в виде обменного аниона. Атомы хлора всегда располагаются на краевых плоскостях органических соединений, но никогда не находятся в середине цепи, поскольку хлор образует только одну ковалентную связь.

Уровни содержания хлоридов колеблются в широких пределах: от 1–10 мг/кг в почвах гумидных областей до нескольких процентов в засоленных почвах.

Одним из основных источников поступления хлора в почву являются осадки в виде дождя и снега. Количество хлора, привносимого в год с осадками, колеблется от 5,00 до 25,00 кг/га. Ближе к морю количество этого элемента, поступающего с атмосферными осадками, значительно возрастает.

6.8.12. Бор

Бор относится к числу рассеянных элементов и в небольших количествах встречается почти повсеместно – в земной коре, осадочных породах, вулканических извержениях, подземных и поверхностных водах, почвах и живых организмах. Его кларк в земной коре равен $3 \cdot 10^{-4}$ %, почве – $5 \cdot 10^{-4}$ %, морской

воде – $5 \cdot 10^{-4}$, растениях – $1 \cdot 10^{-4}$, животных – $1 \cdot 10^{-4}$ %. Осадочные породы более насыщены бором, чем магматические. Богаты этим элементом осадки морского происхождения, особенно глинные и так называемые эвапораты, т. е. осадки, выпадающие в результате испарения из насыщенных растворов.

Бор входит в состав многочисленных минералов в виде гидратированных боратов кальция или магния. В солевых месторождениях этот элемент встречается в форме борацита. Бор относится к элементам, которые подвижны в широком интервале рН, поэтому он мигрирует и в кислой и, особенно, в щелочной среде. Аккумуляция его связана с характером катионов, с которыми он вступает в соединения. Так, соединения бора со щелочными металлами подвижны, а соединения с кальцием и магнием мало растворимы. Осадителями бора являются также соединения алюминия, железа и марганца.

В пахотном горизонте большинства почв Российской Федерации валового бора содержится от 1 до 120 мг/кг. Эталонный курский чернозем содержит его 53 мг/кг. В почвах Северного Кавказа количество валового бора колеблется в пределах 20–70 мг/кг. Почвы, образовавшиеся на древних морских глинах и других осадочных породах, богаче бором, чем почвы, развивающиеся на моренных отложениях – суглинках, супесях.

В почвообразующих породах и почвах бор в большинстве случаев встречается в виде первичного минерала турмалина – сложного боралюмосиликата. Это устойчивый минерал, который может длительно сохраняться при выветривании и почвообразовании в составе песчаных фракций. Второй максимум накопления бора в почвах приходится на тонкодисперсные фракции. Фиксация бора глинными минералами определяется особенностями их кристаллохимии. Наилучший депонент бора – иллит. Поглощение им элемента из водного раствора интенсивно протекает в интервале рН 5,0–8,5, т. е. при той реакции среды, которая охватывает почти полностью диапазон активности протона в почвенных растворах. Прочная фиксация бора в кристаллической решетке иллита возможна в результате внедрения бора в тетраэдры иллитовой структуры и замещения в них алюминия. Биогеохимический цикл бора представлен на рисунке 69 (Ковальский В.В., Андрианова Г.А., 1970).

Вступая в почвенные циклы миграции, бор, как энергичный биофил, поглощается растениями, особенно астровыми (сложноцветными), среди которых имеется ряд галофитов, и затем аккумулируется в почвах, в которых значительная его часть содержится в виде биоорганических комплексов. Другим фактором аккумуляции бора в почвах является образование комплексных соединений с гидроксидами алюминия и железа. Бор поглощается кислыми и основными формами гидроксида алюминия в интервале рН 5,0–6,0, а нейтральными – в интервале 6,0–7,0. максимальное поглощение бора гидроксидом железа происходит в диапазоне рН 8,0–8,5. Как уже говорилось, и в кислых, и в щелочных интервалах рН, но в нейтральных и щелочных почвах эти растворимые минеральные соединения элемента содержатся в почвенном профиле, а в кислых почвах они в значительной степени вымываются, и в почве остаются труднорастворимые и органические соединения. Бор доступен для растений в форме метаборной кислоты и ее солей. На долю этой фракции приходится в среднем 10 % от общего количества бора в почве. Бор, связанный в алюмосиликаты, практически недоступен для растений. Малодоступными для растений являются соединения бора с кальцием и магнием.

В течение вегетационного периода растений содержание подвижного бора и сама его подвижность в почве в результате действия экологических факторов

изменяется. Под влиянием процессов выветривания и разложения органических остатков содержание доступных растениям форм соединений бора в почве повышается. Увеличивают подвижность бора кислые корневые выделения. Важная роль принадлежит микроорганизмам, которые, поглощая подвижные формы, предохраняют бор от вымывания, снабжая им растения после отмирания.

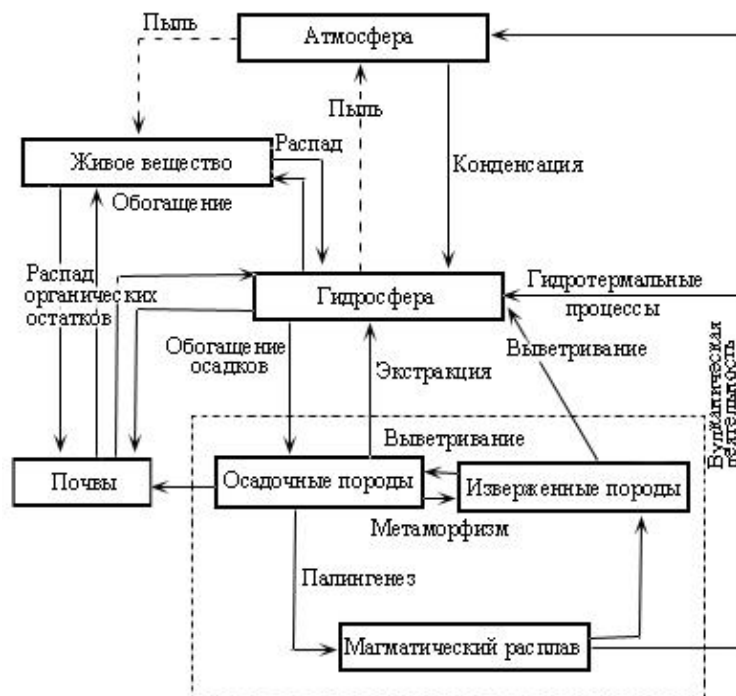


Рис. 69. Биогеохимический цикл бора

Во влажные годы бор интенсивно вымывается из почвы, и только небольшие количества его подвижных форм остается в корнеобитаемом слое. Аналогичная картина складывается в районах орошаемого земледелия и, в частности, на затопляемых рисовых полях. В сухие годы содержание подвижного бора в почве уменьшается вследствие фиксации борат-иона BO_3^{3-} между слоями кристаллических решеток глинных минералов. Явление борной недостаточности у растений вызывает известкование почв. Причиной является нарушение соотношения в почвенном растворе ионов кальция и бора. Увеличение концентрации кальция препятствует поступлению бора в растения. При известковании также более устойчивыми становятся борорганические соединения и поэтому менее доступными для растений.

6.8.13. Кобальт

Кобальт относится к числу мало распространенных в природе химических элементов. Его кларк в земной коре равен $4 \cdot 10^{-3} \%$, почве – $1 \cdot 10^{-3}$, морской воде – $1 \cdot 10^{-7}$, растениях – $2 \cdot 10^{-5}$, животных – $1 \cdot 10^{-6} \%$. Валовое содержание этого элемента в почвах Российской Федерации составляет 0,4–31,0 мг/кг. В почвах Северного Кавказа количество кобальта колеблется от 7 до 26 мг/кг. Этот элемент в почве находится в рассеянном состоянии, решетках почвенных минералов, обменной

форме, в виде водорастворимых соединений и в составе органического вещества. Водорастворимые и обменные формы кобальта являются наиболее доступными для растений. Другие присутствующие в почве соединения микроэлемента используются растениями очень слабо из-за низкой их растворимости.

Распределение кобальта по почвенному профилю зависит от содержания гумуса и гранулометрического состава: чем выше содержание гумуса и тяжелее гранулометрический состав, тем больше кобальта в почве.

В природных условиях кобальт встречается в двух состояниях окисления: Co^{2+} и Co^{3+} ; возможно также образование комплексного аниона $\text{Co}(\text{OH})_3^-$. Двухвалентный кобальт подвижен и легко мигрирует в составе истинных растворов в виде хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов. Наибольшую растворимость имеет сульфат двухвалентного кобальта, но в почвах Co^{2+} быстро переходит в Co^{3+} , который прочно связывается органическим веществом почвы. Гидрокарбонат кобальта малоустойчив и гидролизует с образованием гидроксида Co^{2+} , который при pH 6,8 выпадает в осадок и часто осаждается совместно с гидроксидом марганца. По этой причине марганцевые орштейны обычно обогащены кобальтом.

Миграция кобальта в почве в значительной степени зависит от смены окислительно-восстановительных условий (Eh), изменения pH и активности процессов гумусообразования. Восстановительные условия обуславливают переход кобальта в трехвалентную форму, способствуют его закреплению в почве. В кислых почвах кобальт очень подвижен и может вымываться за пределы почвенного профиля. В основной среде кобальт, как железо и никель, образует труднорастворимые гидраты, благодаря чему не вымывается. Двухвалентный кобальт легко окисляется в щелочной среде. Поэтому в почвах степей и пустынь этот элемент мало подвижен.

Кобальт является элементом почвенного биогенеза и геохимической миграции; ведущая роль в миграции кобальта принадлежит биологическому фактору.

Круговорот кобальта в природе показан на рисунке 70 (Руссель С., 1977).



Рис. 70. Круговорот кобальта в природе

В почвах Российской Федерации содержание подвижного кобальта колеблется в пределах от 0,1 до 6 мг/кг. Количество его в почвах Северного Кавказа составляет 0,8–5 мг/кг. К факторам, способствующим увеличению подвижности в почве и доступности растениями кобальта, относятся: снижение pH почвенного раствора, внесение физиологически кислых удобрений, повышение в почве концентрации углекислого газа, разложение корневых остатков и органических удобрений, усиление микробиологической активности. К факторам, снижающим эти показатели, относятся: известкование, поглощение микроэлемента почвенными коллоидами и гумусом с образованием внутрикомплексных соединений. Определенное влияние на подвижность это-

го элемента оказывает окислительно-восстановительный потенциал почвы. При низких его значениях ($E_h=50-150$ мВ) в почве образуются нерастворимые соединения кобальта – гидрокарбонаты, сульфиды и фосфиды.

6.8.14. Марганец

Марганец является одним из наиболее распространенных микроэлементов в литосфере. В небольших количествах он встречается практически повсеместно. Кларк его в земной коре равен 0,09 %, почве – 0,085, морской воде – $4 \cdot 10^{-7}$, растениях – $1 \cdot 10^{-3}$ и животных – $1 \cdot 10^{-5}$ %.

Марганец по химической природе поливалентный элемент. Встречаются соединения марганца с 2, 3, 4, 6 и 7, редко с 1, 5 и 0 валентностями. Переход марганца из одного валентного состояния (в порядке возрастания валентности) в другое сопровождается изменением цвета его соединений: бесцветный, розовый, красный, коричневый, черный, зеленый, фиолетовый. За эту гамму цветов, присущих соединениям марганца, его называют "химическим хамелеоном". В почвах марганец присутствует в 2-х, 3-х и 4-х валентной форме. Соединения этого элемента в почвах входят в следующие группы: а) воднорастворимые соли – $MnCl_2$, $Mn(NO_3)_2$, $MnSO_4$, $Mn(HCO_3)_2$, $Mn(H_2PO_4)_2$, $MnHPO_4$; б) поглощенный марганец – Mn^{2+} ; в) нерастворимые в воде: окислы и гидраты окисей марганца (закись-окись Mn_3O_4 ; окись Mn_2O_3 ; двуокись MnO_2) и соли марганца – $MnCO_3$, $Mn(PO_4)_2$; г) органические соединения марганца; д) марганец в кристаллической решетке минералов.

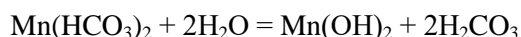
Характер соединений марганца определяет зависимость его миграции и аккумуляции в почвах от окислительно-восстановительных условий, реакции среды, гранулометрического состава и поглотительной способности почв, содержания гумуса, влаги, а также от жизнедеятельности растений, микроорганизмов и почвенной фауны.

Соединения трехвалентного марганца в почвах наименее устойчивы, поэтому в основном присутствуют двух- и четырехвалентные соединения. В сильновосстановленной среде присутствуют Mn^{2+} , соединения которого мобильны; в окислительной – Mn^{4+} , образующий, напротив, труднорастворимые соединения. При крайне высоких окислительных потенциалах могут образовываться Mn^{7+} , точнее легко растворимый анион MnO_4^- . В почвах, однако, редко встречаются окислительные потенциалы, достаточно высокие для образования этого аниона в значительных количествах.

Марганец присутствует в почвах в виде оксидов и гидроксидов, которые часто образуют пленки на отдельных частицах, конкреции, включения и натёки. В рассеянном виде он может входить в состав оливинов, пироксенов, эпидота и других первичных минералов, а также находится в структуре органико-минеральных и органических соединений. В почвенном растворе марганец образует ряд простых и комплексных ионов, а также несколько оксидов различного состава (рис. 71; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Оксиды марганца являются наиболее аморфными соединениями, однако в почвах идентифицированы и кристаллические разновидности – литиофорит, бёрнессит, пиролюзит, манганит, гаусманит, голландит и тодокорит.

Двухвалентный марганец в виде бикарбоната, сульфата, хлорида, нитрата растворим в воде и подвижен в кислой среде до pH 6. С ростом pH до 8 возможно уже образование гидрата:



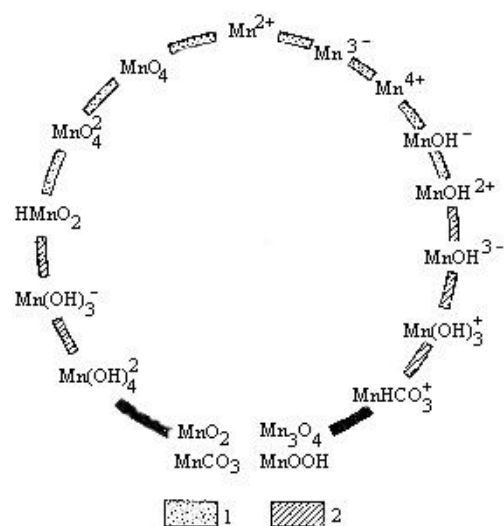
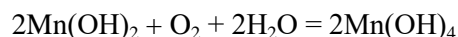


Рис. 71. Формы нахождения и трансформация соединений марганца в почвах

1 – окислительно-восстановительные реакции;
2 – реакции гидратации и окисления-восстановления

Гидратная форма марганца достаточно легко окисляется в щелочной среде кислородом воздуха до четырехвалентного с образованием $Mn(OH)_4$ по конечной реакции:



Этот гидрат можно выразить в виде водной двуокиси состава $MnO_2 \cdot nH_2O$, а последняя, кристаллизуясь, образует MnO_2 , нерастворимую в воде и почвенных растворах. Скорость окисления Mn^{2+} в Mn^{4+} , как было уже отмечено, зависит от pH среды и окислительно-восстановительных условий. Косвенное участие в окислительно-восстановительных процессах, связанных с изменением валентности и подвижности марганца, принимают и микроорганизмы. В основе окисления и накопления марганца микроорганизмами можно проследить разные механизмы. Мобилизация марганца из устойчивых природных соединений – минералов почвообразующих пород – происходит за счет разрушения последних с включением следующих механизмов: растворение сильными минеральными кислотами, образующимися при нитрификации, при окислении серы тионовыми бактериями; воздействие органических кислот – продуктов брожения и неполного окисления углеводов грибами; взаимодействие с внеклеточными аминокислотами, которые выделяются в среду многими почвенными микроорганизмами. С минералами взаимодействуют и продукты разложения микроорганизмами растительных остатков – полифенолы, танины, полиурониды, флавоноиды, а также продукты микробного биосинтеза, в частности, полисахариды. При микробиологическом окислении двухвалентный растворимый марганец переходит в нерастворимую четырехвалентную форму. Марганец окисляют многие неспецифические микроорганизмы из разных таксономических групп бактерий и грибов. Этот процесс, как правило, осуществляется одновременно двумя организмами. Наиболее известна ассоциация грибов с *Metallogenium*. Грибными симбионтами выступают представители многих несовершенных грибов – *Coniothyrium*, *Fusarium*,

Alternaria, *Cephalosporium*. В основе взаимоотношений симбионтов в этой ассоциации лежит способность *Metallogenium* разлагать перекись водорода, защищая тем самым грибы, не образующие каталазы, от токсического действия перекиси. Осаждение марганца в этом случае – побочный процесс, сопряженный с удалением перекиси водорода.

Среди гетеротрофных марганцеоксиляющих микроорганизмов известны те же виды, которые участвуют в окислении железа. Это почвенные артробактерии, олиготрофные *Hyphomicrobium* и *Pedomicrobium*, стебельковые бактерии рода *Seliberia* и микоплазмы *Gallionella*. Многие почвенные грибы, бактерии и актиномицеты способны не только окислять неорганические соли марганца, но также могут освобождать и окислять марганец из металлоорганических соединений. Бактерии проводят окисление марганца в условиях нейтральной среды, грибы окисляют марганец в зоне слабокислых значений рН. Окисление марганца активно протекает в ризосфере риса. В результате активности ризосферных микроорганизмов на корнях риса образуются ризоконкреции, содержащие марганец и значительное количество *Metallogenium*. В почвах рисовых полей облигатные и факультативно анаэробные бактерии родов *Bacillus*, *Clostridium*, *Desulfotomaculum* участвуют в мобилизации марганца путем его восстановления и иммобилизации в результате поглощения его растворимых форм. Восстановление марганца – неспецифическая реакция, которую могут проводить многие бактерии-полиредуктанты (Бабева И.П., Зенова Г.М., 1989).

Влияние почвенных микроорганизмов на превращения марганца достаточно хорошо установлено и доказано, что позволило Ж. Пошону и Г. де-Баржаку (1960) предложить цикл этого элемента на основе процессов биологического окисления и восстановления (рис. 72).



Рис. 72. Цикл марганца

Среди множества форм марганца лишь две – водорастворимая и обменная – легко доступны для растений. Относительно доступны фосфат и карбонат марганца, а также гидраты окислов и окислы этого элемента, поскольку они представляют собой ближайший резерв для пополнения водорастворимой и обменной фракций. Марганец, связанный с органическим веществом, потенциально доступен для растений: при разложении органических соединений он может переходить в усвояемую форму. Марганец, входящий в кристаллическую решетку минералов, растения извлекать не могут.

Марганец проходит в почве несколько циклов миграции: почвенный годичный, почвенный многолетний, а также участвует и в общем геохимическом круговороте.

Динамику марганца в почвенном годичном цикле обычно характеризуют в отношении его подвижных, т.е. легко растворимых и обменных форм. Необходимо,

однако, полнее учитывать пополнение и уменьшение фондов этих форм в результате перехода их в труднорастворимые и устойчивые соединения и обратно.

Наибольшее количество подвижного марганца в почвах содержится весной в условиях насыщения почвы водой и развития восстановительных процессов. По мере подсыхания почвы содержание подвижного марганца уменьшается в результате окисления и снижения растворимости его соединений. Развитие жизнедеятельности растений и микроорганизмов в летний период обуславливает новое увеличение содержания подвижного марганца за счет его освобождения из минерализованных органических остатков и восстанавливающего действия некоторых органических соединений. В осенний период можно ожидать, что несмотря на усиление восстановительных процессов за счет большего увлажнения почвы, будут преобладать процессы потребления подвижного марганца растительностью, особенно при формировании высокого урожая. Именно в этот период возможно интенсивное восстановление гидратов окислов марганца высших степеней окисления, а также усиление процессов перехода обменного марганца в раствор. Количественные и качественные особенности почвенного годового цикла, с одной стороны, определяют уровень снабжения доступным марганцем растений, с другой стороны, являются одним из этапов геохимической эволюции почв.

Имеет свои особенности режим марганца в почвах рисовых полей. Специфические условия, имеющиеся в рисовом поле, в значительной степени влияют на подвижность марганца и его доступность растениям. Снижение окислительно-восстановительного потенциала почвы с 600-650 мВ до 200-250 мВ, имеющее место в условиях полного затопления, сопровождается мобилизацией подвижных форм этого элемента, тем не менее, резкого возрастания содержания подвижного марганца в почве под рисом не происходит, а в отдельных случаях количество его даже в какой-то степени уменьшается. Последнее объясняется значительным выщелачиванием двухвалентного марганца из почвы, а также поглощением его рисом.

Почвенный многолетний цикл миграции марганца более дифференцирован для различных почвенных зон, а также интразональных условий. При слабом дренаже и высоком уровне грунтовых вод наблюдается восстановление марганца до двухвалентного и активная миграция его в почве и за ее пределы. Окислительные процессы приводят к образованию труднорастворимых соединений и даже к необратимому осаждению марганца.

Кислая реакция среды ($pH < 4,0$) вызывает выщелачивание из почвы почти всего марганца, тогда как щелочная ($pH 7-8$) обуславливает высокое содержание нерастворимых и недоступных для растения соединений марганца. При высокой влажности наблюдается наивысшее содержание обменного марганца, низкая влажность косвенно приводит к снижению содержания подвижного марганца.

Прямая зависимость установлена между содержанием гумуса, илистой фракции и обменных оснований, буферностью по отношению к кислым растворам и подвижностью марганца. Указанные зависимости управляют элементарными процессами, протекающими в почвенном многолетнем цикле, и определяют тип распределения марганца в почвенных профилях.

Третий цикл миграции, в котором участвует и почвенный марганец, является геохимическим.

На долю водорастворимой фракции марганца приходится от 5 до 50 % общего содержания микроэлементов в почве. Содержание подвижных форм марганца

(водорастворимой, обменной и частично связанной с органическим веществом) варьирует в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья от 1 до 1000 мг/кг. Наименьшее его количество обнаружено в карбонатных и перегнойно-карбонатных почвах со щелочной реакцией. Подвижного марганца меньше в черноземах и их засоленных разновидностях и, наоборот, больше в почвах болотного типа. В последних практически весь марганец может находиться в подвижной форме. Дерново-подзолистые почвы содержат подвижного марганца 50–150 мг/кг, черноземы – 1–75, сероземы – 1,5–125, каштановые и бурые почвы – 1,5–75 мг/кг. В почвах Краснодарского края подвижного марганца содержится в пределах 10–250 мг/кг, причем, это количество в значительной степени изменяется в зависимости от окислительно-восстановительных реакций, происходящих в почве, от ее кислотности или щелочности.

6.8.15. Медь

Кларк меди в земной коре равен $1 \cdot 10^{-2} \%$, почве – $2 \cdot 10^{-3}$, морской воде – $2 \cdot 10^{-6}$, растениях – $2 \cdot 10^{-4}$, животных – $1 \cdot 10^{-4} \%$.

В глобальном масштабе содержание меди в почвах Земного шара измеряется от 0,1 до 3700 мг/кг, при этом максимум на кривой его распределения приходится на интервал 5–50 мг/кг. Лучше всего обеспечены медью красноземы и желтоземы, а песчаные и органические почвы характеризуются низким содержанием этого элемента. Правда, содержание меди в почвах, относящихся к одному генетическому типу, весьма изменчивое. Нередко эти изменения более существенны, чем наблюдаемые различия между типами почв. В эталонном курском черноземе меди содержится 26 мг/кг, а в большинстве почв Северного Кавказа – 20–35 мг/кг.

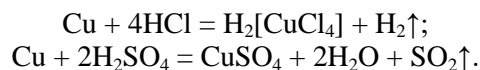
Медь в почвах обычно находится в двухвалентной форме. Медьсодержащими минералами в почвах являются гидрокуприт, мелаконит, гидротенорит, а в районах медных месторождений халькопирит и малахит.

Легкорастворимыми и подвижными соединениями меди являются сульфаты лимонной, уксусной и других органических кислот. Небольшая часть из них, а особенно соли минеральных кислот, является водорастворимой. Труднорастворимыми и малоподвижными – сульфиды, оксиды, фосфиды и оксалаты меди.

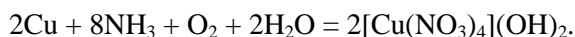
Содержащиеся в почвах формы меди могут быть также подразделены на четыре группы: 1) медь, входящая в кристаллическую решетку первичных и вторичных минералов почвы; 2) медь, находящаяся в соединениях с органическим веществом почвы; 3) медь, находящаяся в поглощенном состоянии на поверхности коллоидных частиц почвы; 4) водорастворимые формы меди.

Медь интенсивно сорбируется твердой фазой почв, особенно монтмориллонитовой минеральной частью ее коллоидно-дисперсной фракции. Поскольку в монтмориллоните наряду с сорбцией наружной поверхностью частиц может иметь место обмен на ионы меди обменных ионов кристаллической решетки минерала, то связывание меди оказывается более прочным и она менее подвижна. При взаимодействии с гумусовыми веществами почвы медь образует низкомолекулярные комплексы. Из них при взаимодействии ионов меди с фульвокислотами формируются соединения хелатного типа, подвижные и растворимые в кислой среде. Образующиеся в почвах гуматы меди малоподвижны. Особенно прочные нерастворимые комплексы меди с органическими соединениями образуются при нейтральной реакции среды. При $pH=7$ она практически вся связывается, ионная форма отсутствует. То, что медь более прочно связана органическими веществами почвы, чем кальций и

магний, говорит о внутриккомплексной ее связи, т. к. именно медь и другие тяжелые металлы с недостроенными внешними электронными оболочками атомов, с малым атомным объемом и большой плотностью заряда иона более склонны к образованию комплексных, в т. ч. и внутриккомплексных соединений. Ионы меди реагируют с обменными катионами почвенного поглощающего комплекса, вытесняя ионы алюминия и водорода. Они способны вступать в реакции с кислотами, которые поступают в почвы и почвообразующие породы с "кислотными" дождями и от различных производств:



Медь реагирует с аммиаком в почвенных растворах:



Она также взаимодействует с карбонатами, сульфатами с образованием комплексов типа $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ и $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{CO}_3)_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. В кислой среде почв возможны соединения: $\text{CuSO}_4 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, CuSO_4 , CuCl_2 , CuCO_3 , в нейтральной – $\text{Na}_2[\text{CuCl}_4]$, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{CO}_3)_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. В щелочной среде могут образоваться $\text{Cu}[(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$. Гидроксид двухвалентной меди может реагировать с растворами сильных оснований, в результате образуются гидрокомплексы – $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{OH})_4]$, $\text{Ba}[\text{Cu}(\text{OH})_4]$.

Процессы, контролирующие поведение меди, в большинстве почв связаны с адсорбцией, окклюзией и соосаждением, образованием органических хелатов и комплексообразованием, микробиологической фиксацией. Количество связанной микроорганизмами меди меняется в широких пределах и зависит от ее валовых запасов и почвенно-климатических условий.

Микробиологическая фиксация меди является важным звеном в ее экологическом круговороте. Она может иметь большое значение как для круговорота микроэлемента в почве, так и доступности их растениям. За год, в течение которого сменяется в среднем 11 поколений микробиоты, в общий биологический круговорот включается около 80 кг/га меди. Возможны два главных типа поглощения меди микроорганизмами. Первый включает неспецифическое связывание катионов на поверхности клеток, в слоях слизи и на внеклеточных матрицах. Второй представляет собой внутриклеточное поглощение, зависящее от метаболического процесса. Входя в простетическую группу оксидаз, например, тирозиназы, полифенолоксидазы, лакказы, оксидазы аскорбиновой кислоты, медь является необходимым элементом для микроорганизмов. Отсюда понятна ее причастность к разложению растительных и животных остатков в почве. С другой стороны, значительная аккумуляция меди микробиотой может привести к существенному уменьшению ее подвижных форм.

Содержание меди в почвенных профилях различается как по отдельным горизонтам, так и по почвенным типам. Будучи элементом биогенной аккумуляции, медь концентрируется в верхнем органоаккумулятивном горизонте. Особенно много меди в торфяных почвах, где она содержится в форме малодоступных для растений комплексных соединений. В отличие от торфяных почв, в черноземах, хотя и происходит закрепление меди гумусом, но нейтральная, а иногда и слабокислая реакция вызывает переход меди в водорастворимое состояние и доступность ее тем самым для растений повышается. В некоторых случаях в черноземах и серых лесных почвах встречается даже избыток подвижной меди.

Для питания растений особое значение имеет не валовое содержание меди, а количество ее подвижных форм в почве. Эта форма меди не является химически индивидуальным соединением, а характеризует наиболее растворимую часть валовых запасов меди, переходящую в вытяжки разбавленных кислот. Содержание подвижной меди в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья в большинстве случаев колеблется в пределах 1-30 мг/кг. Количество подвижной меди, переходящей в вытяжку 1 н. HCl, в различных почвах Краснодарского края составляет 3-9 мг/кг.

Преобладающей в почве подвижной формой меди являются двухвалентные катионы, однако, могут присутствовать и другие ионные формы (рис. 73; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989). Впрочем, ионы меди способны прочно удерживаться в обменных позициях как на неорганических, так и на органических веществах.

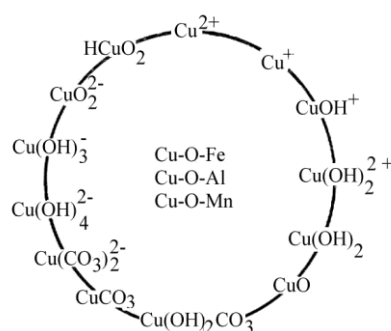


Рис. 73. Ионные формы, соединения и химические связи меди, проявляющиеся в почвах

Факторами, увеличивающими подвижность почвенной меди, являются: 1) повышение концентрации водородных ионов в почве, т. е. подкисление; 2) внесение физиологически кислых азотных и калийных минеральных удобрений; 3) минерализация органического вещества микроорганизмами; 4) накопление в почве нитратов и аммиака. На кислых песчаных почвах, обладающих малой емкостью поглощения, медь может вымываться, что ведет к уменьшению валовых запасов этого элемента в почве. К факторам, уменьшающим подвижность меди и поступление ее в растение, относятся известкование почв и связывание меди в форме комплексных органических соединений в почве.

Подвижность и доступность растениям меди находится в тесной связи и с окислительно-восстановительным состоянием почвы. Усиление восстановительных процессов в почве сопровождается снижением подвижности меди. Одной из причин снижения подвижности элемента в данном случае считается образование нерастворимых ее соединений – гидрокарбонатов, сульфидов и фосфидов. Повышению подвижности меди способствует усиление процессов аммонификации и нитрификации в почве.

Важным компонентом биохимического круговорота меди является атмосферно-гидросферный перенос. Общее поступление микроэлемента в атмосферу составляет около 75 тыс. т/год, из которых от 5 до 13 тыс. т осаждаются в океанах с атмосферными осадками и сухими выпадениями. Примерно 75 % поступившей в атмосферу меди имеет антропогенное происхождение.

6.8.16. Молибден

Кларк молибдена в земной коре равен $1,5 \cdot 10^{-2} \%$, почве – $3 \cdot 10^{-4}$, морской воде – $1 \cdot 10^{-7}$, растениях – $2 \cdot 10^{-5}$, животных – $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-5} \%$.

В природе молибден находится в виде дисульфидов, молибдатов, окислов и других соединений в различных рассеянных минералах. К наиболее важным минералам молибдена относятся молибденит, молибдит, ильземаннит, вульфенит, повелит, ферромолибдит, гиллагит, линдгрениит, белонозит и патераит. В виде примесей молибден входит в состав таких минералов как плагиоклаз, пироксен, олифин, сфен, циркон, магнетит, ильменит, гиперстен, роговая обманка. Кристаллохимия Mo^{4+} определяется размерами его радиуса, высокой плотностью заряда и в связи с этим сильными поляризационными свойствами. Он встречается в акцессорных минералах, таких, как циркон, сфен, магнетит, ильменит. Молибден способен изоморфно замещать Ti в TiO_2 ; в ильмените, магнетите: Fe^{2+} , Fe^{3+} , иногда Si^{4+} ($\text{MoO}_4^{2-} - \text{SiO}_4^{4-}$) и алюминий, но может образовывать и собственные минералы.

В гипергенной зоне молибден встречается преимущественно в шестивалентном состоянии в виде молибдат-иона. В щелочной среде при дефиците кислорода молибден может присутствовать и в пятивалентном состоянии. Однако все элементы, имеющие валентность выше четырех, не сохраняются в природе в виде катионов, т. к. образуют с кислородом комплексные анионы. Эти комплексные анионы образуют с ионами, оказывающими высокое поляризующее действие, трудно растворимые соединения, которые слабо подвержены миграции. Состав молибдатов в общем виде изображают в виде формулы: $\text{Me}(\text{MoO}_4) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. В качестве Me могут быть ионы Ca, Pb, реже Cu, Bi и Fe. В основе структур этих минералов лежат деформированные тетраэдры $(\text{MoO}_4)^{2+}$, которые близки по кристаллохимическим свойствам тетраэдрам WO_4^{2+} . По этой причине довольно часто встречаются изоморфные смеси молибдатов и вольфраматов. Молибден, как правило, связан с щелочными и плагиоклазовыми полевыми шпатами.

Содержание молибдена в почвообразующих породах земной коры довольно постоянно, некоторое повышение наблюдается только в кислых изверженных породах и особенно в осадочных породах, богатых органическим веществом.

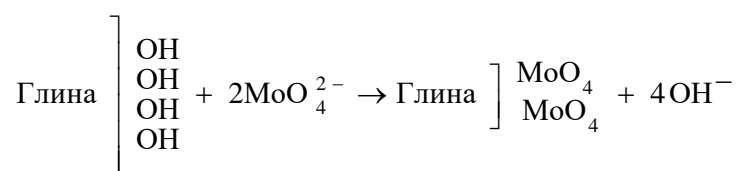
На земной поверхности, особенно в щелочных условиях, четырехвалентный молибден легко окисляется до молибдатов, многие из которых сравнительно растворимы. В ландшафтах сухого климата этот элемент легко мигрирует, накапливаясь при испарении в соленых озерах и солончаках. Во влажном климате, в кислых почвах он часто малоподвижен. Валовое содержание молибдена в почвах колеблется от 0,2 до 36 мг/кг. Наиболее высоким средним содержанием молибдена отличаются черноземы, бедны им каштановые и сероземы; промежуточное положение занимают красноземы и подзолистые почвы. Различия в обеспеченности почв отдельных природных регионов молибденом обусловлены, прежде всего, разными запасами элемента в почвообразующих породах. Лишь иногда они выступают как следствие почвообразования, гидрогенной миграции солей и других гипергенных процессов. Содержание молибдена в почвах в значительной степени зависит от их гранулометрического состава. Наиболее бедны почвы легкого гранулометрического состава – песчаные и супесчаные. Глинистые и суглинистые почвы, как правило, богаче этим элементом. Отмечено также, что более плодородные окультуренные почвы содержат больше молибдена, чем неокультуренные. Низким содержанием элемента отличаются также почвы, сформировавшиеся на серпентинитах.

В процессе почвообразования происходит биогенная аккумуляция молибдена в перегнойно-аккумулятивном горизонте. При подзолообразовании наряду с биогенным накоплением идет частичная миграция микроэлемента из верхней части профиля в нижнюю. В сильноподзоленных почвах повышенное количество молибдена содержится в перегнойно-аккумулятивном и иллювиальном горизонтах. Расположенный между ними элювиальный горизонт, как правило, беден этим элементом.

По интенсивности миграции по почвенному профилю молибден занимает пятое место в ряду в порядке уменьшения: I, Sr, Ni, Ga, Mo, V, Be, Co, Cr, B, Ba, Zr, а по величине коэффициента водной миграции – третье после иода и серебра: I, Ag, Mo, Pb, Co, Mn, V, Ti.

Биогенное накопление в перегнойно-аккумулятивном горизонте объясняется фиксацией молибдена органическим веществом почвы, а повышенное количество элемента в иллювиальном горизонте – большим содержанием илестых частиц и способностью присутствующих здесь окислов железа и алюминия прочно закреплять мигрирующий сверху молибдат-ион.

Подобно фосфат-ионам, молибден сорбируется на глинных минералах и гидроксидах железа и алюминия. Поглощение молибдат-ионов глинными минералами идет с подщелачиванием среды по следующей схеме:

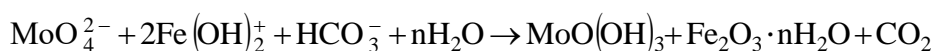


Обменная сорбция молибдена глинами может происходить и в виде иона $\text{Mo}_2\text{O}_7\text{H}^-$. Количество сорбированных молибдат-ионов и прочность сорбций зависят от реакции среды. Связь между pH раствора и количеством сорбированного молибдена выражается кривой, близкой к параболе, с максимумом адсорбции при pH 4-5.

Процессы сорбции на гидроксидах железа и алюминия протекают по той же схеме, что и обмен на глинных минералах. В результате обмена на поверхности гидроксидов железа и алюминия образуются соединения молибдата железа следующего состава: $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_4$. Процесс осаждения молибдена железом и алюминием в большинстве случаев происходит за счет обмена на ион OH^- . В процессе обмена образуются полимолибдаты. Отношение Mo : Al постоянно и соответствует формуле $2[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4\text{OH}]_2 \cdot \text{MoO}_4$. Наименьшая растворимость молибдата алюминия наблюдается при pH 2,7. Поэтому сильноокислые почвы, имеющие большое количество активных соединений железа, должны прочно фиксировать молибден; слабоокислые поглощают его с образованием соединений с гидроксидами алюминия. В почвах возможна необменная фиксация молибдена гидроксидами железа и алюминия с образованием внутримолекулярных цепочечных комплексов. Более энергичное поглощение молибдена идет на свежесаженных гидроксидах. При растворении молибденсодержащих гидроксидов железа наблюдается тесная корреляционная связь между количеством молибдена и железа, переходящих в раствор.

В почве основная масса молибдена сорбируется на полутораокисах железа и алюминия; лишь всего около 2 % фиксируется на глинных минералах. Это подтверждается: 1) прямой зависимостью содержания валового, химически связанного молибдена и Fe_2O_3 ; 2) тем, что на долю железа приходится около

70 % валового молибдена; 3) близким совпадением растворимости почвенного молибдена с растворимостью природных молибденсодержащих гидроксидов железа в зависимости от pH. С повышением pH молибден делается легкоподвижным и быстро выщелачивается из верхних горизонтов почв. Миграция молибдена возможна путем диффузии и передвижения с почвенным раствором. Характер миграции элемента зависит от содержания его подвижных соединений в почве. Передвижения молибдена за счет диффузии преобладают, когда его концентрация в насыщенном растворе меньше 0,004 мкг/мл. Миграция молибдена происходит, когда его концентрация в почвенном растворе превышает эту величину. В условиях восстановленной среды и щелочной реакции почвенного раствора соединения молибдена могут выпадать в осадок:



Молибден способен взаимодействовать не только с минеральными компонентами, но и с органическим веществом почвы. Он адсорбируется коллоидальными продуктами разложения растительного материала в интервале pH от 1 до 4, с максимальным поглощением при pH 1,5, и гумусовыми веществами почв в более широком интервале pH – от 1,5 до 6,5.

Молибден может образовать прочные связи с соединениями, содержащими гидроксильные группы. Он в силу своих химических свойств склонен к комплексообразованию и может вступать в реакции с простыми и сложными органическими соединениями. Комплексообразование молибденовой кислоты с винной, лимонной, щавелевой и другими карбоновыми кислотами происходит за счет кислородного атома по типу гетерополикислот, а также по типу комплексов молибдена с фенолами. Все органические оксисоединения, содержащие гидроксильную группу (ОН⁻) в ортоположении, – спирты, фенолы, оксикислоты и другие многоосновные кислоты, способны образовывать с молибденом водорастворимые комплексы, а с металлами, катионами и аминами давать нерастворимые соли. Гуминовые кислоты непосредственно не могут связывать анионы путем адсорбции. Процессам адсорбции вначале должно предшествовать восстановление MoO_4^{2-} в пентавалентный молибден, который в виде катиона легко уже связывается с гуминовой кислотой. Образование молибденфульватных комплексов идет по типу образования гетерополикислот. Процессы образования этих комплексов в почве протекают менее энергично, чем молибденгуматных, что, по нашему мнению, связано с менее выгодной пространственной ориентацией карбонильных групп в молекуле фульвокислоты, при переходе ее в димеризованное состояние по сравнению с гуминовой. Закрепление молибдена органическим веществом почв может происходить только при pH 1-2, а при pH 5-7 в присутствии гумусовых веществ остается в растворе.

Содержащийся в почвах молибден входит в состав кристаллической решетки первичных и вторичных минералов (труднодоступной для растений), глинистых минералов и коллоидных оксидов алюминия и железа (в форме MoO_4^{2-}), органического вещества почвы (эта форма доступна для растений после минерализации органического вещества) и значительно реже встречается в форме водорастворимых соединений.

Превращения молибдена в почве происходят по циклу, имеющему обратный ход (рис. 74; Amin J., Joham H.E., 1958):

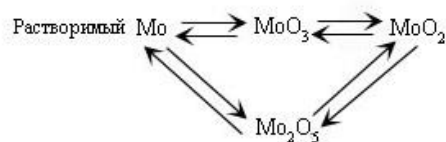
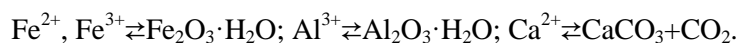


Рис. 74. Трансформация молибдена в почве

Из приведенной схемы следует, что окислительные процессы в почвах способствуют большей доступности молибдена и, наоборот, восстановительные реакции делают его малодоступным. Восполнение растворимого элемента осуществляется за счет превращений в системе трехокись молибдена MoO_3 – солевая форма. В кислом интервале рН такая реакция идет в сторону образования MoO_3 , в щелочном – увеличения содержания растворимых солей элемента.

Формы соединений, подвижность и миграция молибдена в почве определяются: 1) содержанием и характером соединений их в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержания в ней глинистых минералов, свободных полутораоксидов алюминия, железа, реакции среды, водного и окислительно-восстановительного режимов; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями элементов в системе твердая фаза–почвенный раствор; 4) круговорота в системе почва–растение.

Подвижность молибдена в почвах и его доступность растениям определяются рядом факторов. Концентрация молибдена в почвенном растворе является функцией равновесия с молибденсодержащими минералами и считают, что в почве могут существовать разные формы растворимых молибдатов. Наиболее важными регуляторами содержания микроэлемента являются следующие равновесные системы:



Сдвиг равновесия в сторону образования гидроксидов элементов способствует соосаждению молибдена. В системе $\text{Ca}^{2+} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$, которую следует рассматривать как карбонатно-бикарбонатную буферную, важное значение имеет парциальное давление CO_2 . Увеличение давления в почвенном растворе способствует образованию растворимых бикарбонатов, в т. ч. и молибдена, тогда как его уменьшение ведет к формированию труднорастворимых карбонатов, в т. ч. и молибдена, которые выпадают из раствора. Количество подвижного молибдена тесно коррелирует с валовыми запасами его в почве. В оксалатную вытяжку переходит примерно 5–10 % его валового содержания. Недостаток молибдена, как правило, наблюдается на дерново-подзолистых почвах, осушенных кислых торфяниках, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах. Это объясняется тем, что в кислых почвах ионы молибдена связываются полуторными оксидами алюминия и железа и становятся слабодоступными для растений. Изучение влияния рН на формы молибдена в разбавленных растворах показало, что при рН, равном 5 и выше, преобладает форма MoO_4^{2-} , при рН 4,5–2,5 наряду с MoO_4^{2-} присутствуют HMoO_4 и H_2MoO_4 , при рН 2,5–1,0 господствует H_2MoO_4 и, наконец, при рН, равном 1, H_2MoO_4 исчезает и появляются катионные формы. Принимая во внимание, что большинство почв имеют рН > 5, можно считать, что в педосфере анионная форма микроэлемента MoO_4^{2-} является преобладающей (Ильин В.Б., 1973).

К факторам, увеличивающим подвижность в почве и доступность растениям молибдена, относятся увеличение концентрации в почвенном растворе анионов OH^- , PO_4^{3-} , COOH^- (наблюдается при внесении извести CaO , Ca(OH)_2 , CaCO_3 и фосфорных удобрений) и минерализация органического вещества почвы. К факторам, уменьшающим подвижность в почве и доступность растениям молибдена, относят увеличение концентрации ионов H^+ ; обогащение почвы Al(OH)_3 и Fe(OH)_3 ; внесение физиологически кислых минеральных удобрений без сочетания с известью; закрепление молибдена гуминовыми кислотами почвы. Дефицит молибдена в почве может создаваться при внесении серных удобрений. Причина отрицательного влияния сульфатов, возможно, заключается в их подкисляющем действии на почву. Это влияние может быть связано с конкуренцией за место поглощения на корнях ионов MoO_4^{2-} и SO_4^{2-} , имеющих одинаковую величину и несущих одинаковые заряды.

На подвижность молибдена существенное влияние оказывают и окислительно-восстановительные процессы. Высокая степень увлажнения почвы приводит к уменьшению содержания в ней подвижного молибдена, в результате более интенсивного развития восстановительных процессов.

6.8.17. Цинк

Кларк цинка в земной коре равен $5 \cdot 10^{-3} \%$, в почве – $5 \cdot 10^{-3} \%$, морской воде – $5 \cdot 10^{-6} \%$, растениях – $3 \cdot 10^{-4} \%$, животных – $1 \cdot 10^{-3} \%$. По геохимическим свойствам цинк – халькофильный* и литофильный элемент. Наибольшие концентрации его – в железисто-магнезиальных и марганцевых минералах, в ассоциации с двухвалентным железом, магнием, марганцем и другими близкими по ионным радиусам элементами. В почвообразующих породах и педосфере цинк представлен рядом минеральных и органических соединений. В процессе выветривания цинк легко переходит в раствор в виде сульфатов и хлоридов и переносится поверхностными и грунтовыми водами. При выветривании цинковых месторождений может образоваться зона вторичного цинкового обогащения, где цинк вторично отлагается в виде сульфида, окисла, карбоната или силиката. Этот процесс может привести к полному извлечению цинка из вышележащих рудных тел, поскольку ион Zn^{2+} очень подвижен и находится на границе между растворимыми катионами и элементами гидролизатов.

Цинк почв входит в состав таких минералов, как биотит, амфиболы, пироксены. Он содержится также в некоторых разновидностях монтмориллонита (соконит), где замещает в октаэдрах алюминий. Наиболее распространены в коре выветривания карбонаты (преимущественно смитсонит) и силикаты (каламин). Широко развиты так называемые цинксодержащие глины, обычно рассматриваемые как механические смеси каламина или смитсонита с каолином и другими глинистыми минералами. Содержание цинка в почвах мира изменяется в пределах 10-300 мг/кг. В пахотном 0-20 см слое основных типов почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья содержится 20-90 мг/кг цинка. За эталон содержания валового цинка принято его количество в курском черноземе – 52 мг/кг почвы. В черноземах Кубани содержится 50-75 мг/кг валового цинка.

В почвах, не подверженных техногенным воздействиям, существует прямая зависимость между содержанием цинка в почве и в материнской породе. В ее основе лежат механизмы поведения элемента при выветривании горных пород, минералов и при почвообразовании. При разрушении пород освобож-

* Халькофильный – близкий по химическим свойствам к меди.

дающиеся ионы цинка фиксируются и удерживаются компонентами почв. Глинистая часть почв, органическое вещество, оксиды и гидроксиды железа наиболее ответственны за уровень содержания этого элемента в почве. Причина колебаний содержания цинка в почве заключается в фациальном различии пород, а также обусловлена поверхностным, т. е. эрозионным стоком и неоднородностью растительного покрова. Вариабельность содержания цинка в почвах в пределах Русской равнины возрастает с юга на север, от каштановых и сероземных к серым лесным и дерново-подзолистым почвам бореального пояса, что совпадает с параллельным увеличением варьирования состава пород, гумуса, поглощенных оснований в том же направлении.

Распределение цинка по профилю почв, как правило, достаточно равномерное, и различные колебания связаны с содержанием в почвенных горизонтах органического вещества, глинистой фракции, карбонатов, а также с палеопроцессами почвообразования, если они существенно влияют на современный состав почв и педогенез.

Цинк в почвах находится в водорастворимой, обменно-поглощенной минеральными и органическими коллоидами формами, в виде труднорастворимых химических соединений (гидроксиды, карбонаты, фосфиды и сульфиды), в составе органического вещества почвы, в кристаллической решетке почвенных минералов. Все соединения цинка, за исключением находящихся в кристаллической решетке почвенных минералов, в различной степени используются растениями, а наиболее доступной для них является водорастворимая форма. На долю растворимого доступного растениям цинка приходится около 1 % его валового запаса в почве. Основной и наиболее распространенной формой цинка считается Zn^{2+} , однако, в почвах могут присутствовать и другие ионные формы (рис. 75; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

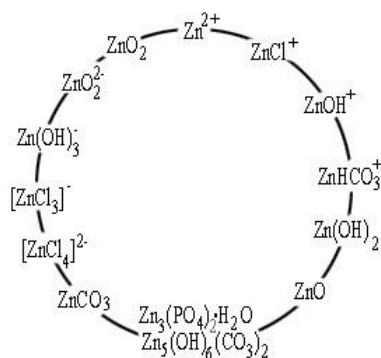


Рис. 75. Ионные формы и соединения цинка, присутствующие в почвах

Двухвалентный ион цинка – Zn^{2+} энергично поглощается почвенными коллоидами и слабо передвигаются по почвенному профилю, коллоидная фракция почв лучше удерживает цинк, чем грубодисперсная. Ионы цинкатов в щелочных условиях более подвижны, так как отрицательный заряд цинкатов способствует уменьшению поглощения их почвой.

Количество цинка, находящегося в почве в водорастворимом состоянии, ничтожно мало. Водорастворимые и обменные формы цинка обычно более доступны растениям.

Подвижность цинка в почвах и его доступность растениям зависят от рН почвенного раствора, от содержания в почве карбонатов и органических веществ. Недостаток цинка в почвах проявляется при рН 6,0–8,0. Гидроксиды цинка амфотерны, т. е. в зависимости от рН среды ведут себя то как слабое основание, то как слабая кислота: при рН 6,5–8,0 происходит образование цинкатов, однако растворимость цинка при этом не всегда увеличивается. При титровании едким натром разведенных растворов солей цинка, находящихся в равновесии с бентонитовыми глинами, содержание цинка в растворе при рН 6,0 достигает минимума. При рН 6,5 растворимость цинка снова начинает повышаться, что связано с образованием цинката натрия. Кривая титрования раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$ носит другой характер, поскольку при этом образуется малорастворимый цинкат кальция: растворимость цинка в этом случае начинает падать при рН 6,5 и достигает минимума при рН 8,0. Последующее повышение рН до 11,0 не приводит к увеличению растворимости цинка. Следовательно, в почвах, содержащих карбонат кальция, подвижность цинка будет очень мала, и известкование почвы уменьшит растворимость цинка.

Важным фактором, влияющим на доступность цинка, является органическое вещество почвы, повышенное содержание которого значительно снижает доступность цинка; связывается цинк и с гуминовыми кислотами почвы. Цинк, вступая в обменные реакции с гуминовыми и фульвокислотами, а также с минеральными ионообменниками, закрепляется почвами благодаря образованию плохо диссоциирующих соединений. Особенно характерно связывание цинка гуминовыми кислотами: растворимые в воде гуматы щелочных металлов коагулируют под действием растворимых солей цинка вследствие образования труднорастворимых гуматов цинка. Этим, в частности, объясняется закрепление цинка в черноземных почвах, богатых гуминовыми кислотами и соединениями. Связанный гуминовыми кислотами цинк служит резервом подвижного цинка в почвах. Подвижность цинка в почвах снижается также в присутствии растворимых фосфатов, т. к. фосфат цинка малорастворим. При увеличении содержания в почвенном растворе минеральных солей или диоксида углерода и в присутствии соды подвижность цинка повышается. Прослеживается связь между подвижностью этого элемента и окислительно-восстановительным режимом почвы: с уменьшением окислительно-восстановительного потенциала почвы она снижается. Это происходит в основном из-за образования нерастворимых фосфидов и сульфидов цинка.

6.8.18. Ванадий

Кларк ванадия в земной коре равен 0,03 %, почве – 0,01, морской воде – $5 \cdot 10^{-8}$, растениях – $1 \cdot 10^{-4}$, животных – $1 \cdot 10^{-5}$ %.

Ванадий относится к числу рассеянных элементов, в небольших количествах встречается почти повсеместно. Наибольшая концентрация ванадия свойственна титаномagnetитам, ильменитам, рутилам и сфенам. В осадочных образованиях он приурочен к соединениям железа, битумам, фосфатам, глинным минералам (иллит), сульфидам. Трех- и четырехвалентный ванадий способен изоморфно замещать Ti^{3+} , Ti^{4+} , Co^{3+} , Fe^{3+} , Nd^{3+} , Ta^{5+} , Cr^{4+} , Ca^{2+} , Al^{3+} . На способность ванадия к изоморфизму влияет не только близость величины ионного радиуса, но и тип кристаллической решетки. Так, он способен замещать алюминий в шестерной координации (слюда, пироксены, гранаты, шпинели) и не способен замещать его в четверной координации (полевые шпаты). Пятивалентный ванадий склонен к изоморфному замещению Be^{2+} , P^{5+} , Se^{6+} , Cr^{6+} , Si^{4+} , Ge^{4+} и As^{5+} .

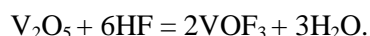
Слабое распространение ванадия в почвообразующих породах в значительной степени отражается на его содержании в сформированных на них почвах. Содержание ванадия в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья варьирует от 20 до 600 мг/кг, образуя регионы с содержанием элемента как ниже, так и выше кларка. Среднее содержание ванадия в почвах Русской равнины составляет около 100 мг/кг, а в зональных почвах мира – 90 мг/кг.

Значительным колебаниям подвержено содержание ванадия в почвах Северного Кавказа – 50–350 мг/кг. Содержание ванадия в почвах Краснодарского края колеблется в пределах 70–200 мг/кг. Такие колебания связаны с разнообразием почвенно-биогеохимической обстановки региона. Наибольшей обеспеченностью этим элементом (130–150 мг/кг) отличаются черноземы малогумусные карбонатные и слитые. Значительно меньше ванадия в каштановых почвах, а также черноземах слабогумусных и малогумусных выщелоченных. Каштановые солонцеватые почвы характеризуются довольно высоким его содержанием (140 мг/кг). В них ванадий концентрируется вместе с карбонатами и легкорастворимыми солями. Почвы речных пойм равнинной части края являются аккумуляторами ванадия. Тяжелые луговые почвы пойм рек Кубани, Белой и Лабы обогащены этим элементом (в среднем 138 мг/кг); мало обеспечены им легкие аллювиальные луговые почвы (Тонконоженко Е.В., 1973).

Содержание ванадия в почве меняется в зависимости от свойств материнской породы: почвы, развившиеся на покровных суглинках, более богаты ванадием по сравнению с почвами, образовавшимися на морене, а почвы, развившиеся на песках, наиболее бедны этим элементом.

Отмечается четко выраженная биологическая аккумуляция ванадия в верхнем, перегнойно-аккумулятивном горизонте дерново-подзолистых почв и, наоборот, пониженное его содержание в подзолистом горизонте вследствие вымывания в нижележащие слои. Содержание ванадия в почвенных горизонтах часто следует параллельно количеству в них железа.

Помимо естественных факторов, определяющих концентрацию ванадия в почве, имеет место и техногенное его накопление. Т.В. Хабарова и В.А. Хабаров (1998) изучали особенности поведения техногенного ванадия. По их данным, в почве ванадий и его соединения значительно трансформируются. В почвенном растворе ванадий в форме пентаоксида диванадия (V_2O_5) взаимодействует с водой с образованием неустойчивой сильной кислоты $H_4[V_{10}H_2O_{28}]$, а также с кислотами, щелочными металлами. Так, в кислой среде образуются $V_2O_5 \cdot nH_2O$ и соли диоксованадия – $(VO_2)_2SO_4$, $[V(H_2O)_5O]Cl_2$, ионы $[H_3V_{10}O_{28}]^{3-}$, $V_3O_9^-$ (Брикард Дж., 1982). При наличии в выбросах хлористоводородной и фтористой кислот возможны реакции:



Следует отметить, что образующиеся в почвах соединения ванадия растворимы в воде, мигрируют по почвенному профилю и могут поглощаться корнями растений.

В почвах ванадий может существовать главным образом в пятивалентном состоянии в виде ванадат-иона. Появление ванадил-иона VO^{2-} возможно лишь при очень низких значениях Eh и pH как продукта восстановления метаванадат-иона VO_3^- . Ванадил-ион, как правило, образует комплексы с органическим веществом почвы и глинистыми минералами. При этом коэффициент геохимического обогащения достигает значительных величин. Анионные формы ванадия (VO_4^{3-} , VO_3^-) отмечаются мобильностью и относительно вы-

сокой токсичностью для микробиоты почв. Они способны сорбироваться на различных гидроксидах. В интервале pH 7,7-8,2 наилучшим сорбентом пяти- и четырехвалентного ванадия является гидроксид железа, за ней следует гидроксид марганца. Сорбированный ванадат-ион может оставаться в обменном состоянии, переходить в химически связанный или входить непосредственно в состав кристаллической решетки сорбента. При подщелачивании среды этот анион вытесняется гидроксидными ионами и переходит в раствор.

Кроме полуторных оксидов соединения ванадия активно сорбируют глинные минералы. Анионы ванадия больше всего поглощаются двухслойными минералами из группы каолинита. Наибольшей емкостью поглощения катионов ванадия (V^{3+} , VO^{2+} , VO_2^{2+}) обладают монтмориллонит, за ним следует нонтронит, наименьшая емкость поглощения у каолинита.

Ванадий подвижнее в умеренно восстановительной среде или сильно щелочных растворах, содержащих карбонаты. В то же время при наличии органического вещества в восстановленных условиях этот элемент может осаждаться так же, как в кислой среде, в присутствии калия или кальция. Ванадий сорбируется продуктами разложения растительного материала в интервале pH 1,5-7,0, максимум поглощения наблюдается при pH 3,0. Органическое вещество почв адсорбирует ванадий в диапазоне pH от 1,0 до 9,0. С гумусовыми веществами почв ванадат-ионы реагируют с восстановлением VO_3^- до VO^{2+} (ванадила), который и связывается непосредственно с органическим веществом. Цикл ванадия в почве И.Н. Любимова (1979) изобразила в виде схемы (рис. 76).

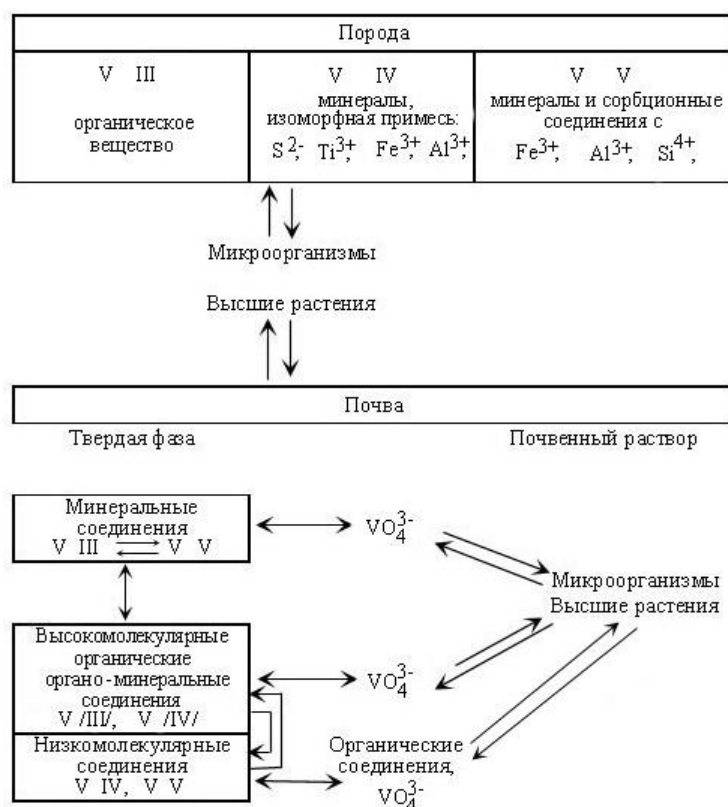


Рис. 76. Цикл ванадия в почве

В почвах ванадий находится: 1) в кристаллической решетке минералов; 2) в адсорбированном состоянии на полутороаксидах (Fe, Al) и глинистых минералах; 3) в комплексе с органическим веществом; 4) в виде легкорастворимых соединений. На долю подвижного ванадия приходится 5-15 % его валового запаса в почвах. Содержание подвижного ванадия в почвах Краснодарского края невелико, не превышает 6 % общего его количества за исключением солончаковых, а также перегнойно-глеевых и торфяно-глеевых почв, где его около 12-13 % от валового запаса. Содержание подвижных соединений этого элемента во всех почвах края больше в верхней части гумусового горизонта и уменьшается вниз по профилю. Исключения составляют кислые горно-лесные бурые почвы, развивающиеся в условиях промывного водного режима.

Таким образом, формы соединений, подвижность и миграция ванадия в почве определяются: 1) содержанием и характером соединений его в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержания в ней глинистых минералов, свободных полуторооксидов железа и алюминия, реакции среды, водного и окислительно-восстановительного режимов; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями элемента в системе твердая фаза–почвенный раствор; 4) круговоротом в системе почва–растение.

6.8.19. Иод

Кларк иода в земной коре равен $3 \cdot 10^{-5}$ %, почве – $5 \cdot 10^{-4}$ %, морской воде – $1 \cdot 10^{-6}$ %, растениях – $1 \cdot 10^{-5}$ %, животных – $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ %.

Геохимия иода в ландшафте определяется его активной водной и воздушной миграцией, а также интенсивным участием в биологическом круговороте. Талассофильность* и биофильность** иода близки – 0,12 и 0,20. По талассофильности этот элемент близок к бору – 0,40, натрию – 0,42, селену – 0,08 и сильно уступает хлору – 111 и бромю – 30, значительно превосходя фтор – 0,0015. Биофильность иода также меньше чем хлора, брома и азота. По этому показателю иод ближе всего к мышьяку – 0,18, кальцию – 0,17, калию – 0,12.

Иод образует небольшое число самостоятельных минералов, но присутствует во многих других в виде изоморфной примеси. К известным минералам иода относятся иодиды металлов, а также полигалиты, иодаты и периодаты: маршит, белленджерит, майерсит, селезит, купроиодаргирит, шварцбергерит, иодаргирит, дитцеит, иодэмболит, лаутерит, токорналлит, кокцинит.

В зонах окисления иодных и серебросодержащих месторождений, расположенных в засушливых районах, образуются минералы иода, представляющие собой нерастворимые соли – иодиды меди и серебра. В условиях щелочной среды и испарительного режима при высоком содержании иода в грунтовых водах на поверхности образуются труднорастворимые иодные минералы – соли иодноватой (иодаты) кислоты. Наиболее распространенные из них – дитцеит и лаутерит.

Иод является постоянной составной частью всех без исключения изверженных осадочных пород. В основе дифференциации иода в изверженных породах лежат кислотно-основные свойства самого элемента и окружающей среды. Повышение щелочности среды способствует ионизации иода и закреплению его в породах или почвах, а увеличение кислотности ведет к об-

* Отношение среднего содержания элемента в морской воде к кларку литосферы.

** Отношение среднего содержания элемента в живом веществе к кларку литосферы.

ратному эффекту, т. е. усиливает подвижность элемента за счет восстановления его до элементного состояния и его потери.

На содержание иода в почвах изверженные породы существенного влияния не оказывают, т. к. на современном этапе развития суши почвообразование связано в большей степени с осадочными, а не с изверженными породами. Это предполагает, что состав осадочных пород должен играть решающую роль в содержании иода в формирующихся на них почвах. Хотя осадочные породы образуются, как правило, в процессе разрушения изверженных, в отношении содержания иода они подвержены значительным изменениям. Концентрация иода в осадочных породах значительно превышает таковую в кислых изверженных породах. Это обусловлено большой адсорбирующей поверхностью составляющих их компонентов и поглощения ими иода из внешней среды, а также поступлением микроэлемента в осадочные породы с органическими материалами. Концентрация иода в осадочных породах определяется также их генезисом – условиями образования и наличием органического вещества. Наименьшим содержанием этого микроэлемента характеризуются песчаники и известняки, которые, как правило, на 95-99 % состоят из кремнезема и углекислого кальция и обеднены другими элементами. Глинистые и суглинистые породы в связи со значительным содержанием органического вещества и вторичных глинных минералов обладают высокой емкостью поглощения и поэтому содержат больше иода, чем песчаники и известняки. Существует связь между механическим составом осадочных пород и содержанием в них иода. С увеличением доли частиц физической глины повышаются адсорбционные свойства пород, что в свою очередь сопровождается возрастанием содержания в них иода. По содержанию этого микроэлемента осадочные породы образуют возрастающий ряд: песчаники, известняки, суглинки, глины (Кашин В.К., 1987).

Высоким содержанием иода отличаются морские осадочные отложения, особенно органогенные илы — 10-300 мг/кг сухого вещества. Соединениями иода свойственна высокая растворимость в воде, кислотный характер, способность легко окисляться, летучесть в элементарном состоянии. Обеднению биосферы иодом способствует горный рельеф, создающий условия для выноса иода атмосферными осадками, и высокий уровень грунтовых вод.

Среднее содержание иода в поверхностных слоях почв различных стран изменяется в пределах 0,1-50 мг/кг. В почвах ряда островов Ирландии, Новой Зеландии и Японии содержание его достигает 80 мг/кг, что обусловлено высоким содержанием иода в морской воде. Еще более высокие концентрации микроэлемента (300-340 мг/кг) зафиксированы на солончаковых почвах, образуя почвенные геохимические аномалии этого элемента. В почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья среднее содержание иода колеблется от 0,2 до 12,0 мг/кг. Наиболее бедны иодом сероземы, подзолистые и серые лесные почвы. Относительно больше его в черноземах и красноземах. Среднее содержание иода в черноземах, равное 5,4 мг/кг, считается эталонным. Причем, типичные, обыкновенные и южные черноземы значительно лучше обеспечены иодом, чем оподзоленные и выщелоченные.

Разнообразие условий почвообразования на Северном Кавказе привело к формированию почв, заметно различающихся по валовому содержанию иода. Так, интервал его содержания в различных почвах Кубани составляет 0,4-11,1 мг/кг. Наиболее им обеспеченные почвы – малогумусные карбонатные черноземы, и особенно слабогумусные черноземы и каштановые почвы Тамани. В последних содержание иода в большинстве случаев выше кларка, осо-

бенно в районах, расположенных ближе к морю. Наименьшее количество его отмечается в почвах горных районов и, прежде всего, в горно-лесных бурых почвах, нередко в серых лесных предгорной зоны. Мало иода в долинных суглинистых, супесчаных черноземах и легких почвах долин рек. Если в последних это определяется главным образом механическим составом, то в почвах горных районов малая насыщенность иодом прежде всего связана с большим количеством осадков и процессами эрозии, способствующими его вымыванию. Довольно разнообразно содержание иода в горных перегнойно-карбонатных почвах. В отдельных случаях в некоторых из них, образующихся на мергелях, содержание иода достигает 5-6,5 мг/кг. Сравнительно мало иода в тяжелых лугово-черноземных почвах долин рек. В почвах пойм и дельт, а также в горных перегнойно-карбонатных и горно-лесных бурых пестрота в распределении этого элемента наиболее выражена. Здесь чаще всего встречаются почвы, слабообеспеченные иодом. Содержание иода в пахотных горизонтах черноземов Краснодарского края близко, но несколько выше, чем в сходных с ним приазовских предкавказских черноземах Ростовской области. Содержание иода в последних колеблется в пределах 2,2-3,7 мг/кг.

Ведущими факторами, определяющими содержание иода в почвах, являются: первоначальный уровень концентрации иода в почвообразующих породах, удаленность от моря, характер водного режима, особенности ландшафтного строения территории, содержание органического вещества в почвах и его способность сорбировать иод. С удалением от моря по мере уменьшения поступления иода из воздуха содержание элемента в почвах снижается. Для всех типов почв характерна общая закономерность: чем больше в почве гумуса, тем выше в ней содержание иода. Реакция среды почвенного раствора определяет степень подвижности, а вместе с этим и уровень накопления иода в почвах. В кислых подзолистых почвах отмечается самое низкое содержание иода, т. к. в них создаются условия для вымывания и улетучивания его. Щелочные почвы обладают свойствами переводить ионы иода в связанное состояние и накапливать его в значительных количествах, образуя в отдельных случаях почвенные геохимические аномалии иода с концентрацией 80-300 мг/кг. Чем выше местность расположена над уровнем моря и чем круче ее склоны, тем меньше в почвах содержится иода. Количество иода в почвах находится в тесной связи с их механическим составом. С увеличением содержания в почве тонкой илистой фракции количество иода в ней существенно повышается. Это обусловлено тем, что в состав илистой фракции входят в основном глинные минералы, обладающие хорошо развитой поверхностью и большой поглотительной способностью. Кроме того, в илистой фракции отмечается и наибольшее количество гумуса в сравнении с другими фракциями почв. У геохимии иода есть общие черты с геохимией легкорастворимых солей: там, где аккумулируются соли, как правило, накапливается и иод.

В распределении иода по профилю почвы отмечается следующая закономерность. Верхний гумусовый слой почвы наиболее богат иодом, а материнская порода, наоборот, содержит наименьшее количество этого элемента. Исключение составляют осадочные породы морского происхождения, которые, как правило, содержат много иода.

В почвах иод присутствует в составе органических веществ или в соединениях с минеральной частью в виде легко- и труднорастворимых соединений анионов Γ , IO_3^- или в виде молекулярного иода. Исходя из степени прочности удержания почвой, выделяют следующие формы соединений иода в почве: свободный, водорастворимый, соле-, кислото-, щелочнорастворимый и прочносвязанный.

Свободный иод образуется в результате освобождения его при разложении и минерализации органического вещества. В силу высокой химической активности элементарного иода длительность существования его свободной формы незначительна, т. к. он вторично связывается гумусом или улетучивается из поверхностных слоев почвы в атмосферу. Тем не менее, свободный, газообразный иод в следовых количествах постоянно присутствует в почве, так же как и постоянно идут в ней окислительные процессы и распад органических веществ, а также обмен этим элементом между почвой и атмосферой (Кашин В.К., 1987).

Водорастворимый иод – одна из наиболее важных форм миграции его в почвах. Соле-, кислото- и щелочнорастворимые соединения иода в меньшей степени вовлекаются в биологические процессы, и совсем не захватываются в биологический круговорот соединения иода, входящие в кристаллическую решетку породообразующих минералов и горных пород. Эти соединения извлекаются только сплавлением проб с поташом, с последующей экстракцией и называется остаточными.

Важное значение для определения обеспеченности растений иодом имеет содержание его усвояемых форм в почве. Одна из наиболее подвижных форм – водорастворимый иод. Количество этой формы иода составляет от 5-8 до 50 % валового его содержания в почве. Однако водорастворимый иод является далеко не единственной усвояемой растениями формой микроэлементов. Ближайшими резервами для питания растений служат соле-, кислото- и щелочнорастворимые формы иода, извлекаемые из почвы растворами солей кислот и щелочей. Иод, находящийся в кристаллической решетке алюмосиликатов, переходит в почвенный раствор и становится доступным растениям только после разложения этих минералов. Та часть микроэлемента, которая прочно связана с органическим веществом, переходит в раствор и становится усвояемой растениями после минерализации органического вещества.

Основным источником поступления и накопления иода в почвах является иод атмосферы. Основные же источники поступления иода в атмосферу – гидросфера Земли. Поступление иода в атмосферу происходит при извержении вулканов и выбросе магматических пород, из которых он постепенно вымывается водами и выносится в реки, моря, океаны. Здесь происходит усиленное накопление иода морской фауной и флорой. С поверхности морей океанов, а также при нагревании горных пород и почв иод улетучивается в атмосферу (рис. 77; Ковальский В.В., Андрианова Г.А., 1970).

Воздушные массы переносят иод в пределы суши, а с атмосферными осадками он поступает в почву. Поэтому обеспеченность растительных и животных организмов суши иодом зависит от близости к морю. Преобладающая часть иода (99 %) поступает в атмосферу из Мирового океана в основном при испарении его с поверхности воды и отчасти морскими брызгами. В районах активной вулканической деятельности заметные количества иода поступают в атмосферу при извержениях вулканов.

В ноосфере сжигание угля, нефти, торфа доставляет в атмосферу "захороненный иод". Следовательно, его миграция ускоряется. Ускорению миграции способствует повышение окислительного потенциала почв при осушении болот (Перельман А.И., 1989).

Иод в атмосфере находится в трех физических состояниях: в составе твердых аэрозольных частиц, в газообразной и жидкой фазах. Соотношение аэрозольного и газопарового иода зависит от количества в воздухе твердых частиц, на которых в основном происходит адсорбция иодистых соединений.

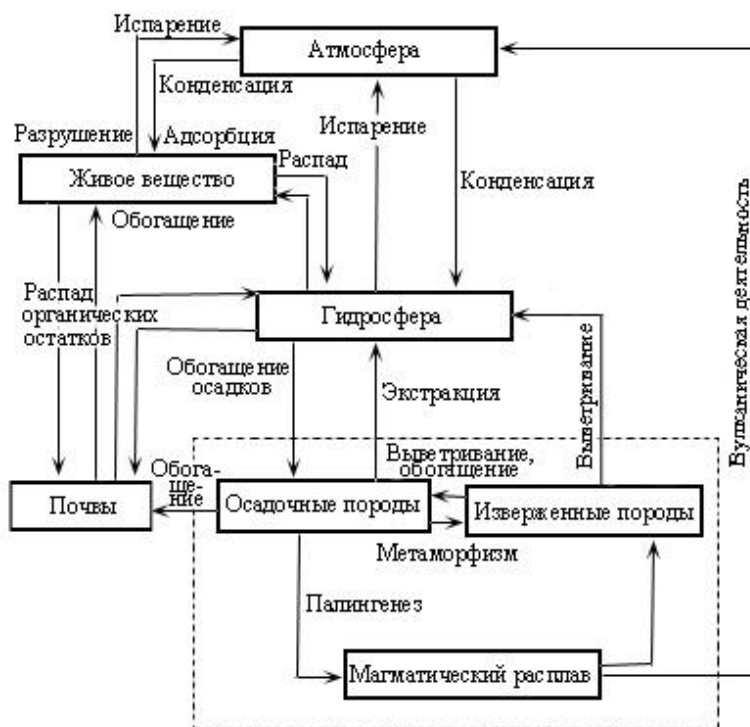
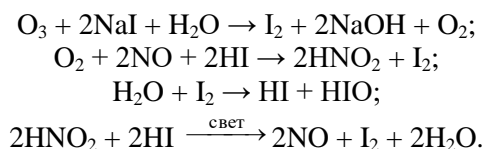


Рис. 77. Круговорот иода в природе

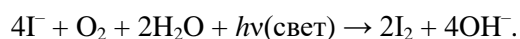
Основные химические формы иода в атмосфере – иодорганические соединения, иодиды и свободный иод. Между этими формами происходят постоянные взаимопревращения и изменения их соотношений в природе. Наличие свободного иона обусловлено присутствием в атмосфере таких сильных окислителей, как кислород, озон, окислы азота, углекислота и ультрафиолетовая радиация. Под влиянием окислителей в атмосфере идут реакции, связанные с превращением иода и его соединений:



Таким образом, иод является постоянным ингредиентом атмосферы, которая служит средой наиболее активной миграции его в природе. Образование газообразных форм иода и активная миграция их в атмосфере – одно из наиболее важных звеньев биогеохимического цикла этого элемента.

Главным источником иода для ландшафтов служит гидросфера Земли. Содержание иода в природных водах определяется высокой растворимостью большинства его соединений и гидрохимическими условиями для водной миграции элемента. Важную роль в накоплении и миграции иода в водах играют щелочно-кислотные условия. В кислой среде происходит восстановление иода до молекулярного состояния и улетучивание его из водных растворов. В щелочной среде, наоборот, отсутствуют окислительные условия для иодистых соединений и наблюдается накопление элемента в растворах. Следующ-

щим важным фактором, влияющим на содержание иода в природных водах, является степень их общей минерализации. В зависимости от концентрации солей различают: 1) ультрапресные, 2) пресные, 3) солонцеватые, 4) соленые воды и 5) рассолы. К пресным водам относится большинство вод поверхности континентов. Они характеризуются низким содержанием иода. Соленые воды – океанические, некоторые поверхностные и подземные воды материков, самые распространенные воды нашей планеты. Наличие в таких водах повышенных количеств ионов K^+ , Na^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} способствует удержанию иода в растворе и накоплению его в больших количествах, чем в пресных водах. Наоборот, присутствие в морской воде ионов железа и марганца, интенсивная инсоляция, особенно действие ультрафиолетовой радиации способствуют окислению иодистых соединений и потере свободного иода из поверхностных слоев в атмосферу (Кашин В.К., 1987). Выделение иода из поверхностных слоев морей и океанов происходит по следующей схеме:



Среднее содержание иода в морской воде составляет 50 мкг/л, а в речной – 2 мкг/л или в 25 раз меньше. Общее содержание иода в Мировом океане равно $6,85 \cdot 10^6$ т. Концентрация иода в морских водах повышается с увеличением глубины, достигая максимума в донных иловых водах. Происходит это в результате минерализации органического вещества, отмирающих растений и животных и осаждения из них иода.

Иод в морской воде находится в растворенном состоянии в виде неорганических ионов I^- , IO_3^- и в форме комплексных органо-минеральных соединений в составе биомассы живых и отмерших организмов. Доля иодидов и иодатов в морской воде примерно одинакова. Кроме этих основных форм в морской воде присутствуют молекулярный иод и гипоиодид как результат распада иодидов и иодатов под влиянием окислителей.

Воды подземного и поверхностного стоков и атмосферных осадков составляют незначительный объем от общих мировых запасов воды (2,8 %), однако они имеют важное значение в миграции иода на суше. Содержание в них иода зависит от обеспеченности им почв и пород. В какой-то степени оно связано и с поступлением его с осадками, т. к. на 1 га в зависимости от количества осадков и отдаленности от океана поступает от 9 до 50 г иода. Поэтому содержание иода в водах, отражая обеспеченность данной местности этим элементом, считается показателем иодного уровня местности.

Основной глобальный круговорот иода осуществляется между океаном и континентом: океан – атмосфера – почвы – растения – реки – океан. Малый океанический цикл: океан – живые организмы – донные отложения – (подводные вулканы) – океан. Малый континентальный цикл иода: атмосфера – горные породы – почвы – растения – почвы.

6.8.20. Селен

Селен является халькофильным рассеянным элементом. Кларк его в земной коре равен $6 \cdot 10^{-5}$ %, почве – $1 \cdot 10^{-6}$ %, морской воде – $1 \cdot 10^{-7}$ %, растениях – $1 \cdot 10^{-7}$ %.

Селен входит в состав 40 самостоятельных минералов – самородного селена, селенидов (химические соединения селена с металлами), селенитов (соли селенистой кислоты), селенатов (соли селеновой кислоты). При химическом выветривании горных пород селен легко окисляется, при этом степень его окисления, как и растворимость, зависит от окислительно-восстановительных условий и pH

среды. Существенную роль в геохимическом цикле селена играют процессы биологического метилирования, в результате которых образуются его летучие формы. Селенит-ионы, образующиеся при окислительных процессах, достаточно стабильны и могут мигрировать до тех пор, пока не будут адсорбированы минеральными или органическими частицами. Именно поэтому в некоторых углях и глинистых отложениях содержание селена повышено. Селениты – преобладающие формы этого элемента, которые адсорбируются глинистыми минералами, особенно монтмориллонитом и оксидами железа. Адсорбция SeO_3^{2-} гетитом во многом зависит от pH среды. В резкоокислительных и резковосстановительных условиях селен является геохимическим аналогом серы. В слабоокислительных и слабовосстановительных условиях, напротив, пути миграции и концентрации этих элементов часто расходятся. Селен растворим в окислительных условиях и нерастворим – в восстановительных.

Содержание селена в почвах различных генетических типов изменяется в широких пределах. Его количество ниже в почвах, сформированных на вулканических породах. В среднем оно составляет 0,2-0,6 мг/кг. В почвах, сформированных на осадочных породах, содержание селена часто находится в пределах 4,5-5,0 мг/кг и в зависимости от условий формирования широко меняется, достигая иногда 100 мг/кг. Преимущественно это щелочные почвы, концентрация селена в почвенном растворе которых составляет 10^{-6} молей.

Селеновый пул почвы складывается из неорганических соединений микроэлемента и органических форм, попадающих в почву вместе с умершими животными организмами и растительными остатками. Под действием микрофлоры почвы происходит, с одной стороны, образование форм, доступных для растений, а с другой – высвобождение селена в атмосферу в результате реакции метилирования (рис. 78; Тутельян В.А., Княжев В.А., Хотимченко С.А. и др., 2002).

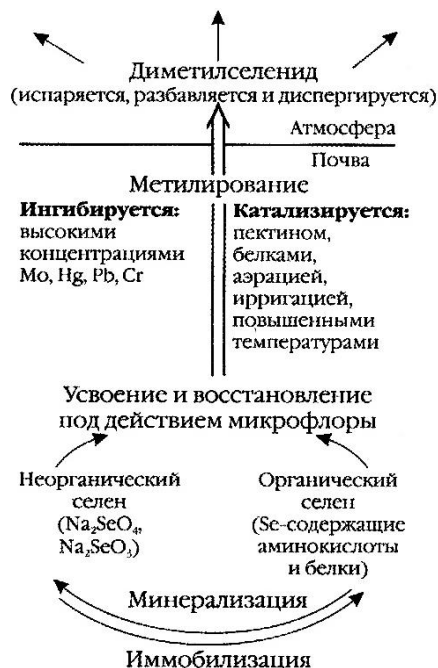


Рис. 78. Метаболизм селена в почве

Антропогенное воздействие, в первую очередь связанное со сжиганием ископаемого топлива, резко увеличивает долю атмосферного селена таким образом, что последний, наряду с депонированными в земле формами, становится важным источником этого микроэлемента для растений. Однако далеко не весь селен почвы доступен для растений. Так, в кислых, сильно заболоченных почвах биодоступность микроэлемента низка, хотя общее содержание может быть и значительным. Здесь большое значение имеет образование нерастворимых комплексов четырехвалентного селена с железом. В аэробных щелочных условиях преобладающая часть селена находится в окисленной форме (Se^{6+}) и легко доступна для растений.

На рисунке 79 приведены возможные формы нахождения селена в почвах (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

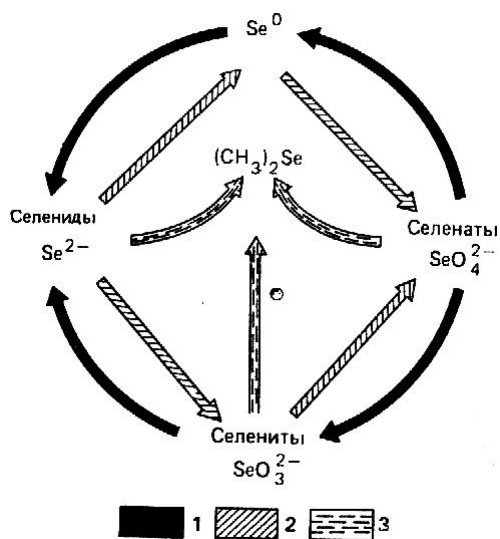


Рис. 79. Формы нахождения и трансформация соединений селена в почвах
1 – восстановление, 2 – окисление, 3 – метилирование

Весь селен почвы делится на пять фракций: первая – растворимая в K_2SO_4 , представленная органическими соединениями, селенатами и селенитами; вторая – сорбированные селениты, извлекаемые методом изотопного обмена; третья – формы селена, извлекаемые HCl и NH_4OH (без идентификации); четвертая – органические соединения селена, растворимые в NH_4OH ; пятая – элементарный селен и селениды, извлекаемые азотной кислотой. При изучении форм нахождения и трансформации соединений селена в почвах следует обратить внимание на следующие моменты:

– в кислых глеевых почвах и в почвах с высоким содержанием органического вещества преобладают селениды и сульфиды селена, которые малоподвижны и поэтому труднодоступны для растений.

– в хорошо дренируемых минеральных почвах, pH которых близок к нейтральному, доминируют исключительно селениты, при этом селениты щелочных минералов растворимы, а селениты железа нерастворимы. Кроме того, селениты активно фиксируются гидроксидами и оксидами железа и поэтому труднодоступны для растений.

– в щелочных и хорошо аэрируемых почвах имеют место селенаты. Они легко растворимы, слабо фиксируются оксидами железа и достаточно подвижны, что делает их доступными для растений.

Согласно Д.С. Орлову, Л.К. Садовниковой и И.Н. Лозановской (2002), содержание соединений селена в биосфере и его трансформация обусловлены следующими факторами:

- 1) окислительно-восстановительные условия и pH, от которых зависят формы минеральных и частично органических соединений селена;
- 2) деятельность микроорганизмов и высших растений, накапливающих селен или трансформирующего его соединения в летучие органические формы;
- 3) адсорбция, влияющая на закрепление соединений селена в почвах и породах;
- 4) миграция с водными потоками, включающая выщелачивание в гумидных ландшафтах и аккумуляцию при соленакоплении в аридных областях.

В интенсивно окислительной среде ($pe+pH > 15,0$) преобладает SeO_4^{2-} как в кислых, так и в щелочных почвах. При $pe+pH = 7,5-15,0$ наибольшее значение имеют как $HSeO_3^-$, так и SeO_3^{2-} , но $HSeO_3^-$ должен преобладать в кислых почвах, а SeO_3^{2-} – в щелочных. В интенсивно восстановительной среде ($pe+pH$ менее 7,5) должен преобладать HSe^- , и только в очень сильноокислой среде вклад H_2Se в общую концентрацию селена в растворе может быть значительным. Анион Se^{2-} присутствует в очень малых количествах и не имеет существенного значения для большинства почв.

В природе соединения селена могут поступать в атмосферу вследствие вулканической деятельности; летучие соединения продуцируются также почвенными микроорганизмами, особенно грибами в кислородной среде, а также люцерной и селено-аккумулирующими растениями, такими, как астрагалы. В числе летучих соединений селена известны диметилселенид и диметилдиселенид. Значительные количества селена поступают в атмосферу техногенным путем – при сжигании различных видов топлива, особенно угля. Из атмосферы селен вновь возвращается на земную поверхность с осадками, а также в виде твердых пылевых выпадений.

6.8.21. Литий

Кларк лития в земной коре равен $6,5 \cdot 10^{-3} \%$, почве – $3 \cdot 10^{-3}$, морской воде – $1,5 \cdot 10^{-5}$, растениях – $1 \cdot 10^{-5}$, животных – $1 \cdot 10^{-4} \%$

Литий относится к группе рассеянных элементов. Для него свойственно концентрирование в кислых магматических породах и осадочных алюмосиликатах. В эндогенных процессах для лития характерны исключительная фторофильность и высокая хлорофильность – образование флюидов с фтором и хлором. Близость ионных радиусов Li^+ , Fe^{2+} и Mg^{2+} позволяет литию входить в решетки магнезиально-железистых силикатов – пироксенов и амфиболов. В гранитоидах он содержится в виде изоморфной примеси в слюдах. При выветривании литий сравнительно легко высвобождается из первичных минералов при окислении и в кислой среде и затем захватывается глинистыми минералами. В небольшой степени он фиксируется также в органическом веществе, поэтому содержание лития в почвах контролируется больше условиями почвообразования, нежели его начальным содержанием в материнских породах.

Распространенность лития в поверхностном слое различных типов почв весьма однообразна (табл. 40; Виноградов А.П., 1957). Наблюдается ясно выраженная закономерность увеличения валового содержания лития при зо-

нальном перемещении с севера на юг. Это объясняется переходом к почвам более тяжелого механического состава и меньшей их выщелачиваемостью.

Таблица 40 – Содержание лития в пахотном 0-20 см слое почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья

Почвы	Содержание лития, мг/кг	
	среднее	пределы колебаний
Подзолистые	34	17–60
Бурые лесные	36	25–56
Каштановые	37	31–48
Черноземы	40	36–46
Сероземы	42	23–53

Распределение лития в профиле почвы подчиняется общим тенденциям циркуляции почвенных растворов. Для лития, элемента с ярко выраженными литофильными свойствами, биогенная аккумуляция, если она и есть, весьма незначительна, о чем свидетельствует низкое содержание его в растениях и малый коэффициент биологического поглощения 0,003-0,25. Валовое содержание лития в почвах зависит от их генезиса, особенностей почвообразовательного процесса и характера материнской породы. Горные почвы богаче литием, чем равнинные, что является следствием их меньшей выветренности и более сильного влияния коренных пород. В почвах, сформированных на песчано-грубообломочных аллювиальных или моренных отложениях, общий уровень содержания лития ниже, чем в почвах на кристаллических породах. Пониженное содержание этого элемента установлено для светлых песчаных почв, особенно, если они образовались на ледниковых отложениях в условиях гумидного климата. В аридной климатической зоне литий вовлекается в восходящее движение почвенных растворов и может осаждаться в верхних горизонтах в составе легкорастворимых солей – хлоридов, сульфатов и боратов. Этими реакциями объясняется относительно высокое содержание его в солончаках, каштановых почвах и почвах прерий. Повышенные концентрации лития выявлены и в интразональных молодых почвах, развитых на аллювиальных отложениях. В начале почвообразовательного процесса литий более подвижен, затем он становится более консервативным из-за сильного связывания глинными минералами.

В почвах различают 4 формы соединений лития: 1) литий почвенного раствора – часть лития почвы, находящаяся в почвенном растворе, в наибольшей степени подверженная внешнему воздействию и тесно связанная со всеми формами лития в почве; 2) литий обменный – часть лития почвы, расположенная на поверхности органо-минеральных коллоидов, в основном способствующая достижению динамического равновесия элемента за счет процессов сорбции и десорбции, взаимодействуя с необменным литием; 3) литий необменный – часть лития почвы, находящаяся в структуре минералов и органо-минеральных смектиновых комплексов, участвующая в формировании равновесной системы; 4) литий минерального скелета – часть лития почвы, обусловленная почвообразующими литийсодержащими первичными и вторичными минералами. Трансформация соединений лития представлена на рисунке 80 (Шеуджен А.Х., 2003).

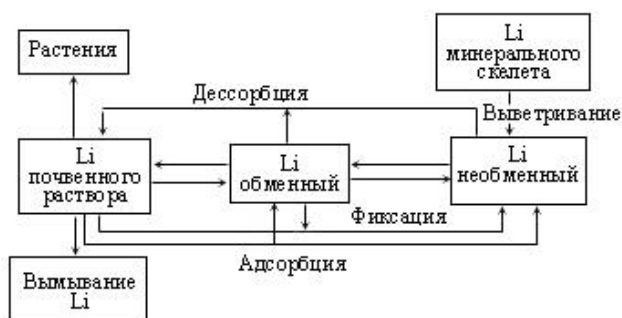


Рис. 80. Формы лития в почве и их трансформация

Вклад каждой из этих форм в валовые запасы лития почвы различен. Для характеристики обеспеченности растений литием наиболее важным является содержание в почве водо- и кислотно-растворимые формы элемента, т. е. литий почвенного раствора и литий обменный. На содержание и распределение кислотно-растворимых форм лития, на их миграцию оказывают существенное влияние содержание гумуса, мощность почвенного профиля, количество карбонатов кальция. Значительные изменения претерпевают различные формы лития в верхних горизонтах профиля под влиянием эрозионных процессов, которые способствуют выносу его из верхнего горизонта и заметно уменьшают содержание кислотно-растворимых форм элемента в этих слоях почвы.

6.8.22. Титан

Кларк титана в земной коре равен 0,6 %, почве – 0,46, морской воде – $1 \cdot 10^{-7}$, растениях – $1 \cdot 10^{-7}$, животных – $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-5}$ %. По распространению в земной коре титан занимает десятое место, он относится к более распространенным элементам, чем фосфор, медь, свинец и цинк.

В природе титан встречается исключительно в виде соединений (двуокиси, титанаты, силикаты, ниобаты) в различных распространенных в земной коре минералах. Известно около 70 минералов титана. Важнейшими из них являются: ильменит, рутил, брукит, анатаз, перовскит, сфен (титанит), пирофанит, лопарит, пирохлор, микролит, эшинит, лейкоксен и титаномagnetит. В минералах титан присутствует преимущественно в четырехвалентном состоянии, в основном как главный компонент оксидов и титанатов, а также силикатов.

Титан распространен в магматических и осадочных породах (табл. 41; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Таблица 41 – Содержание титана в магматических и осадочных породах, %

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,03-0,30	Глины	0,38-0,46
Основные	0,90-1,38	Сланцы	0,44-0,46
Средние	0,35-0,80	Песчаники	0,15-0,35
Кислые	0,12-0,34	Известняки	0,03-0,04

Основную роль в концентрации титана играет магматизм – он накапливается в пегматитах основных пород, щелочных породах (сиенитах) и связанных с ними пегматитах.

В почвообразующих породах Краснодарского края содержание титана колеблется в пределах 513-9330 мг/кг. В преобладающих почвообразующих породах степного ландшафта – лессовидных суглинках и глинах – оно составляет 1349-6771 мг/кг, в аллювиальных отложениях пойм и дельт рек – 1122-5838, делювиальных и элювиальных глинах предгорий и гор – 3300-9333, в мергелях и известняках – 513-6166 мг/кг. Наибольшая неоднородность в распределении титана характерна для почвообразующих пород предгорий и гор, наименьшая – для степного ландшафта. В почвообразующих породах степной зоны и долин рек различия в содержании этого элемента во многом определяются их механическим составом. Больше его обычно в глинистых породах. В предгорьях и особенно горных ландшафтах, где почвообразующие породы весьма разнообразны, различия в распределении титана связаны не только с изменением механического состава, но и в значительной степени с более разнообразным минералогическим и химическим составами.

В гипергенно-осадочном цикле миграции титан принадлежит к слабоподвижным элементам. В процессе выветривания он мигрирует и накапливается главным образом механическим путем в форме минералов россыпей. Из первичных минералов титана возникают вторичные амфотерные минералы типа лейкоксона, ксантитана и другие промежуточные продукты разрушения ильменита.

Хотя минералы титана – самые устойчивые в почве, совсем нерастворимых минералов не существует, и уровень содержания титана в почвенных растворах в среднем в большинстве случаев составляет 0,03 мг/л. Впрочем, растворимость титана в почвах весьма ограничена, что приводит к возрастанию его абсолютных количеств в верхних горизонтах почв в результате потери части глинистых минералов при выветривании.

Накопление титана в почвах зависит от материнской породы и от интенсивности почвообразовательного процесса. Богаче титаном почвы, образующиеся на основных породах, беднее песчаные, лессовые, болотные и известковые.

Содержание титана в поверхностном слое почв мира в большинстве случаев колеблется в пределах 0,01–1,0 %. В пахотном горизонте большинства почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья его содержится 0,01-0,6 %.

Содержание титана в пахотном слое почв Краснодарского края приближается к кларку – 4500 мг/кг. При этом самым низким его содержанием при сравнительно равномерном распределении отличаются черноземы среднегумусные предгорно-степной зоны (3300 мг/кг). Мало титана и в лёссовидных породах, на которых развиваются эти черноземы. Больше титана содержат слитые черноземы (6160 мг/кг). Выщелоченные и слабогумусные черноземы степной зоны края содержат этого элемента соответственно 3600 и 3900 мг/кг.

По профилю почв наблюдаются некоторые особенности распределения титана. Наибольшее его количество содержится в гумусовом горизонте. С глубиной содержание этого элемента убывает. Такое распределение титана соответствует изменению содержания перегной и илистой фракции по профилю почвы. Аккумуляция его в верхнем горизонте проявляется довольно четко и вызвана в основном действием биогенного фактора.

6.8.23. Бериллий

Кларк бериллия в земной коре равен $3,8 \cdot 10^{-4}$ %, почве – $2 \cdot 10^{-4}$, морской воде – $8,8 \cdot 10^{-12}$, растениях – $0,12 \cdot 10^{-4}$, животных – $0,3 \cdot 10^{-6}$ %; талассофильность – $1,5 \cdot 10^{-7}$.

Бериллий – типичный литофильный элемент. Известно 55 эндогенных и экзогенных минералов бериллия. Главнейшие из них: берилл, фенакит, бертрандит, гельбертрандит, хризоберилл, гельвин, гентгельвин, бавенит, эвклаз, бериллийсодержащий маргарит и лейкофан.

Бериллий преимущественно связан с гранитной и щелочной магмой, концентрируется в пегматитах и высокотемпературных гидротермалитах. Данные по содержанию этого элемента в магматических и осадочных породах представлены в таблице 42 (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Таблица 42 – Содержание бериллия в магматических и осадочных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,1–0,7	Глины	2–6
Основные	0,3–1,0	Сланцы	2–5
Средние	1,0–1,8	Песчаники	0,2–1,0
Кислые	2,0–6,5	Известняки	0,2–2,0

При выветривании горных пород бериллий, как правило, сохраняется в остаточных продуктах и по своим геохимическим свойствам похож на алюминий. Однако его поведение сильно изменяется в разных средах из-за характерных особенностей – малого размера атомов, высокого потенциала ионизации и высокой электроотрицательности.

Содержание бериллия в почвах колеблется от $2 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ %. В почвенном покрове Российской Федерации и стран ближнего зарубежья содержание этого элемента изменяется в пределах 1,2–13,0 мг/кг. Состояние бериллия в почве определяется легкой гидролизуемостью его соединений, амфотерными свойствами, высоким значением ионного потенциала и, как следствие этого, склонностью к образованию комплексных соединений.

Бериллий существует чаще всего в виде двухвалентного катиона, но известны также его комплексные ионы – BeO_2^{2-} , $\text{Be}_2\text{O}_3^{2-}$, BeO_4^{6-} и Be_2O^{2+} . Поэтому бериллий в почвах присутствует преимущественно в кислородных соединениях. В щелочной среде он образует комплексные анионы типа $\text{Be}(\text{OH})\text{CO}_3^-$ и $\text{Be}(\text{CO}_3)_2^{2-}$.

Содержание бериллия в почвах определяется его концентрацией в почвообразующих породах. Характер распределения этого элемента по профилю почвы аналогичен распределению в ней органического вещества независимо от типа почвы. Максимальные концентрации бериллия зарегистрированы в верхнем гумусовом слое почв. Гумусовые кислоты и фульвокислоты легко связывают этот элемент. Бериллий может замещать алюминий, магний и железо в монтмориллоните, чем обусловлено сильное связывание его этими минералами.

В ноосфере минералы бериллия использовались еще в древности (изумруд, аквамарин), но металлический бериллий нашел применение лишь в середине XX в. Это характерный металл новых технологий: ракетное топливо, высококоррозионностойкие сплавы. На сегодняшний день технофильность бериллия низкая. Однако из-за сжигания огромного количества углей и развития атомной техники все же есть опасность увеличения содержания этого элемента в почвах. Зафиксированы случаи возрастания содержания бериллия в почве до 15–50 мг/кг вблизи металлургических заводов и угольных электростанций, в то время как в фоновых почвах его было около 1 мг/кг. Высокое содержание бериллия в почвах наблюдается и в районах его месторождений (Перельман А.И., 1989).

6.8.24. Барий

Кларк бария в земной коре и почве равен 0,05 %, морской воде – $5 \cdot 10^{-6}$, растениях – $1 \cdot 10^{-4}$, животных – $1 \cdot 10^{-5}$ %, технофильность – $2 \cdot 10^7$. В свободном состоянии барий в природе не встречается. Из минералов наибольшее значение имеют барит (тяжелый шпат) BaSO_4 и витерит BaCO_3 . Этот элемент слабо концентрируется в кислых изверженных породах и значительно – в гидротермальных рудах, содержащих минералы барит и витерит. Накапливается барий в сланцах и глинистых осадочных породах (табл. 43; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Таблица 43 – Содержание бария в магматических и осадочных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,5–25	Глины	500–800
Основные	250–400	Сланцы	500–800
Средние	600–1000	Песчаники	100–320
Кислые	400–1200	Известняки	50–200

В почвообразующих породах Краснодарского края содержание бария колеблется от 388 до 1047 мг/кг (табл. 44; Тонконоженко Е.В., Хлюпина М.И., 1973). Сравнительно равномерно барий распределен в лессовидных породах и аллювиальных отложениях. При прочих равных условиях этого элемента больше в тяжелых породах.

Таблица 44 – Содержание бария в почвообразующих породах Краснодарского края, мг/кг

Порода	Содержание	Порода	Содержание
Лессовидные суглинки	443–906	Аллювий глинистый	472–943
Лессовидные глины	554–1047	Аллювий суглинистый	388–399
Делювий глинистый	664–828	Элювий глинистый	897–1029

В геохимических процессах барий обычно ассоциируется с K^+ из-за большой близости их ионных радиусов, поэтому он присутствует в основном в составе щелочного полевого шпата и биотита. Барий, высвобождающийся при выветривании, малоподвижен, поскольку он легко осаждается в виде сульфатных и карбонатных солей, сильно адсорбируется глинами и концентрируется в минералах и конкрециях, содержащих марганец и фосфор. Корки, образующиеся на поверхности почв в аридном климате, всегда обогащены этим элементом.

Концентрации бария в верхнем слое почв и в материнских породах имеют сходные пределы колебаний. Содержание этого элемента в почвах мира изменяется от 19 до 2368 мг/кг. Почвы Русской равнины его содержат 100–1500 мг/кг. Барием более богаты почвы тундры – 1000 мг/кг, меньше его содержат подзолистые – 600, черноземы и лесные почвы – 400, сероземы – 300, меньше всего содержат этого элемента красноземы – 100 мг/кг.

Содержание бария в почвах Краснодарского края часто примерно в 1,5–2 раза, а в некоторых горно-лесных бурых, а также луговых и лугово-черноземовидных почвах пойм – в 3–4 раза больше среднего для почв бывшего Советского Союза (500 мг/кг). Содержание бария в легких, особенно аллювиально-луговых, почвах нередко меньше среднего для бывшего СССР (табл. 45; Тонконоженко Е.В., Хлюпина М.И., 1973).

Таблица 45 – Содержание бария в почвах Краснодарского края, мг/кг

Почвы	Содержание	Почвы	Содержание
Черноземы: слабогумусные	443–646	Аллювиально-луговые	388–399
малогумусные карбонатные	758–823	Лугово-болотные	472–631
малогумусные выщелоченные	653–906	Серые лесные и лесостепные	664–828
среднегумусные выщелоченные	1047	Бурые горно-лесные	897–1029
слитые	554–625	Перегноино-карбонатные	286–590
Лугово-черноземные	665–943	Горно-луговые	515–700

Сравнительно одинаковое содержание бария характерно для почв черноземного типа, неравномерное – для почв речных пойм и особенно горной зоны. Разнообразие в содержании этого элемента в почвах пойм обусловлено, прежде всего, неоднородностью их гранулометрического состава. Обычно более богаты барием тяжелые почвы. В горной зоне неоднородное распределение бария в почвах определяется разнообразием почвообразующих пород. Наибольшая неоднородность распределения и низкое среднее содержание бария характерны для перегноино-карбонатных и горно-луговых почв.

Барий находится в почвах либо в силикатах, например, калиевом полевоом шпате и гидрослюдах, либо в виде карбонатов и бикарбонатов или сульфатов. При этом, если в почвах много хлор-иона, то Ba^{2+} выносятся постепенно в виде хлоридов. Барий силикатов легче извлекается почвенными водами, чем $BaSO_4$. На долю растворимых форм этого элемента (извлекаемых 0,5 н. CH_3COOH) приходится всего лишь 1 % от валового его содержания в почвах.

Наибольшее количество бария содержится в гумусовом горизонте почв. С глубиной содержание его постепенно убывает. Такое распределение бария соответствует изменению содержания перегнойной и илистой фракции по профилю почвы. Аккумуляция этого элемента в верхнем горизонте проявляется довольно четко и вызвана в основном действием биогенного фактора.

6.8.25. Бром

Кларк брома в земной коре равен $1,6 \cdot 10^{-4}$ %, почве – $2 \cdot 10^{-4}$, морской воде – $7 \cdot 10^{-3}$, растениях – $7 \cdot 10^{-4}$, животных – $1 \cdot 10^{-4}$ %.

По химическим свойствам и особенностям миграции бром напоминает хлор, однако более низкий кларк определяет его меньшую роль в земной коре: он не бывает ведущим элементом, почти не образует минералов. Известные в природе минералы ограничиваются бромидами серебра: бромиритом, эмболитом и иодэмболитом. Способность брома к концентрации очень мала, это типичный рассеянный элемент. Образование минералов происходит в зонах окисления сульфидных серебро-содержащих месторождений, формирующихся в засушливых пустынных областях.

Содержание брома в земной коре колеблется в пределах 0,2-10 мг/кг, причем максимальные концентрации характерны для глинистых отложений (табл. 46; Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н., 2002).

Таблица 46 – Содержание брома в горных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,2–1,0	Глины	5–10
Основные	0,5–3,0	Сланцы	6–10
Средние	1–4	Песчаники	1–5
Кислые	0,2–4,5	Известняки	6

Бром – сильнолетучий элемент, а его соли легкорастворимы. Поэтому геохимия брома тесно связана с природной водой и эвапоритовыми* отложениями. Гидросфера содержит около $\frac{3}{4}$ всего имеющегося в земной коре брома.

Содержание брома в почвах колеблется от 5 до 40 мг/кг. В торфах и почвах, обогащенных органическим веществом, содержание брома может достигать 120-170 мг/кг. В почвах прибрежных районов Японского моря, на вулканических пеплах и андезитах, а также в почвах северных районов Норвегии брома содержится до 500 мг/кг.

В почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья содержание брома колеблется в пределах 1-38 мг/кг и в среднем составляет 11 мг/кг. Наиболее обогащены бромом красноземы и чернозем, меньше его содержат подзолистые, серые лесные и каштановые почвы, еще меньше – сероземы (табл. 47; Виноградов А.П., 1957).

Таблица 47 – Содержание брома в пахотном слое различных типов почв, %

Тип почвы	Содержание	Тип почвы	Содержание
Подзолистые	$(1,56-2,9) \cdot 10^{-4}$	Сероземы	$9,8 \cdot 10^{-5}$
Лесные серые	$(3,0-5,69) \cdot 10^{-4}$	Черноземы	$(1,95-9,1) \cdot 10^{-4}$
Каштановые	$1 \cdot 10^{-4}$	Красноземы	$(7-25) \cdot 10^{-4}$

Органическое вещество почвы активно концентрирует бром. Однако повышенная концентрация этого элемента в большей степени обусловлена выпадением его в составе атмосферных осадков, чем обогащенностью почвы органическим веществом. Основными антропогенными источниками брома могут быть фумиганты (метилбромид) или пестициды, используемые в газообразном состоянии, калийные удобрения, а также автомобильные выхлопы.

6.8.26. Фтор

Кларк фтора в земной коре равен 0,027 %, почве – 0,02, морской воде – $1 \cdot 10^{-4}$, растениях – $1 \cdot 10^{-5}$, животных – $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-4}$ %.

Фтор является типичным литофильным элементом. Его наибольшие концентрации обнаружены в средних и кислых кремнистых магматических породах (табл. 48; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Фтор энергично мигрирует при вулканизме в газообразной форме, в гидротермах и водах биосферы – в ионной форме. В эндогенных процессах средство к фтору – фторофильность – имеет большое геохимическое значение. Свободный фтор иногда может встречаться в горных

* Эвапоритовые отложения – образование растворимых солей в результате испарения вод.

породах в виде газовых пузырьков. В поверхностных отложениях фтор ассоциируется с глинистыми породами и, вероятно, поэтому наиболее высокие его концентрации характерны для глинистых образований. Важнейшим осадителем фтора является кальций, с которым он образует труднорастворимый флюорит. Фтор обладает способностью замещать гидроксильные группы в минералах. Эти реакции приводят к образованию фторapatита – наиболее распространенного минерала фтора, а также способствуют увеличению содержания фтора в амфиболах и слюдистых минералах.

Таблица 48 – Содержание фтора в горных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	50-100	Глины	500-800
Основные	300-500	Сланцы	500-800
Средние	500-1200	Песчаники	50-270
Кислые	300-850	Известняки	50-350

Главными источниками фтора в окружающей среде, в т. ч. и в почве, являются:

- 1) разрушающиеся горные породы, содержащие в среднем 0,03 % фтора, и их минералы (апатит, турмалин, биотит, мусковит и другие слюды);
- 2) вулканические газы;
- 3) газопылевые выбросы алюминиевых, сталелитейных, стекольных и фарфоровых заводов, в состав которых входят NaF, KF, NaAlF₄, AlF₃, CaF₂, HF, SiF₄;
- 4) фосфорные удобрения, содержащие от 1 до 4 % фтора, фосфогипс (0,3-0,8 %), другие химические мелиоранты. Например, по данным Ю.А. Потатуевой (1978), при внесении фосфорных удобрений из расчета 60-90 кг P₂O₅/га в почву поступает не более 6-8 кг фтора.

Содержание фтора в почвах зависит от его количества в материнской породе. Для большинства почв содержание фтора колеблется в пределах 150-400 мг/кг (табл. 49; Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н., 2002).

Таблица 49 – Содержание фтора в верхних горизонтах различных почв, мг/кг

Почвы	Содержание	Почвы	Содержание
Тундровые	200-300	Лесные	130-320
Подзолы и песчаные	20-200	Каштановые	100-320
Лессовидные и пылеватые	120-230	Солончаки	400-1000
Суглинистые и глинистые	110-750	Черноземы	130-240
Флювисоли	1175-1360	Красноземы	70-150

В районах бывшего или современного вулканизма, а также там, где происходит рассеивание фторapatита, содержание фтора может превышать 1000 мг/кг почвы.

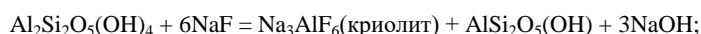
Фтор присутствует в почвах в составе фторapatита, флюоридов и алюмосиликатов, а также в виде комплексных ионов с алюминием: AlF²⁺, AlF₂⁺, AlF₄⁻. Этот элемент способен легко замещать в глинистых минералах гидроксильные группы. Таким способом илиты и другие глинистые минералы способны связывать большую часть фтора в почвах.

Твердая часть почв полностью или частично поглощает фторид-ионы удобрений, мелиорантов, дымовых выбросов предприятий, что уменьшает опасность загрязнения продуктов питания человека. В почвах основными агентами поглощения фторид-ионов из растворов являются тонкодисперсные алюмоферросиликаты и свободные оксиды алюминия и железа. Исчезновение фторид-ионов из растворов при взаимодействии с этими компонентами почв сопровождается стехиометрическим переходом в раствор гидроксид-ионов (ОН⁻) и ростом значений pH. Особенно высокой поглотительной способностью по отношению к фтору обладают почвы с кислой реакцией. По мере повышения pH способность почв связывать фторид-ионы быстро ослабевает. Наименьшей фторфиксирующей способностью обладают щелочные почвы. Однако содержащийся в них обменный натрий сам по себе не влияет на адсорбцию фтора. Скорость поглощения фтора твердой частью почв варьирует от нескольких минут в суспензиях до нескольких суток в пастах. Возможные механизмы поглощения следующие:

- 1) прямое замещение фторид-ионами ионов ОН⁻ кристаллической структуры алюмосиликатов:



- 2) замещение OH^- -ионов свободных гидроксидов алюминия и основных полимеров алюминия, адсорбированных на поверхностях минералов;
- 3) образование фторалюмосиликатов $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$;
- 4) разрушение алюмосиликатов и образование нерастворимых фторалюминатов – криолит:



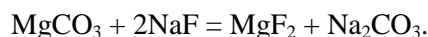
5) разрушение алюмо(ферро)силикатов под действием фторид-ионов с участием реакций комплексообразования, приводящих к растворению полуторных окислов и образованию растворимых фторалюминатов и фторферратов.

Связывание фтора почвой зависит от концентрации F^- , содержания глинных минералов и величины pH почвенного раствора. Фтор накапливается преимущественно в илистой фракции почв, тогда как в песчаной фракции его содержание не превышает 0,2-4 % от общего количества, поэтому глинистые почвы всегда содержат больше фтора, чем песчаные. Интенсивная сорбция фтора имеет важное экологическое значение; это, в частности, снижает поступление элемента в почвенно-грунтовые воды при химическом загрязнении.

Миграция фтора усиливается при подкислении и уменьшается при подщелачивании почвенного раствора. Высокая растворимость фтора в кислых почвах обусловлена присутствием легкорастворимых фторидов натрия, калия и аммония (NaF , KF , NH_4F). Пониженная миграция фтора в известковых почвах обусловлена образованием слабо растворимых CaF_2 и комплексов фтора с железом, алюминием и кремнием. Правда, присутствие в содовых почвах способного к активному обмену натрия может увеличить растворимость фтора.

Фтор вызывает сильные изменения микроагрегатного состава и окислительно-восстановительного потенциала нативных почв. Добавление к почве NaF практически всегда вызывает увеличение pH, повышает растворимость органического вещества. В кислых почвах эта закономерность более выражена, чем в щелочных. Значительно увеличивается подвижность алюминия, железа и кальция, умеренное увеличение характерно для магния, калия, марганца и фосфора. Небольшое увеличение растворимости (подвижности) выявлено для кадмия, хрома, никеля, меди, цинка, бора, молибдена и бария.

Одной из причин, вызывающих увеличение pH под влиянием фтора, может служить анионно-обменный характер адсорбции F^- - и OH^- -ионов. Такой вид адсорбции возможен на положительно заряженных коллоидах, содержащих в компенсирующем слое обменные OH^- -ионы. Этот механизм наиболее вероятен для дерново-подзолистых почв. Другим фактором, вызывающим сдвиг pH, может служить необменная сорбция F^- -иона при взаимодействии с карбонатами кальция и магния:



Увеличение pH почв в этом случае происходит под действием образующегося карбоната натрия, имеющего щелочную реакцию. Второй механизм, по-видимому, характерен для сероземов. Эти почвы наиболее богаты карбонатами кальция и магния, общее их содержание для сероземов составляет 360 мг-экв./100 г.

Увеличение содержания водорастворимого органического вещества почвы при внесении фтора может происходить в результате превращения нерастворимых гуматов кальция и магния в легко растворимые гуматы натрия под действием фтора. На переход органического вещества в водорастворимое состояние оказывает влияние и подщелачивание почвы.

На фоне повышения подвижности органического вещества проявляется угнетающее действие фтора на активность почвенной микрофлоры. Высокие концентрации фтора в почвенном растворе снижают численность бактерий, актиномицетов и грибов в почве и подавляют интенсивность микробиологических процессов – азотфиксацию и нитрификацию; в почве накапливается аммиачный азот.

Содержание фтора в почвах определяется его концентрацией в материнских породах, что же касается особенностей его распределения в почвенном профиле, то они зависят от почвообразующих процессов, из которых наиболее важное значение имеют интенсивность выветривания и содержание глинистых частиц. Фтор выносится из верхних горизонтов большинства почв, что отчасти свидетельствует о его инертности к органическому веществу. Не установлено корреляционной связи между содержанием гумуса и фтора в почвах.

Показателем, определяющим потенциальную возможность перехода фтора в сопредельные среды, может служить степень его подвижности в почвах, выраженная отношением концентрации растворимых форм фтора к валовому содержанию. Исследования, выполненные Н.П. Кремленковой (1996) в различных геохимических обстановках, выявили связь степени подвижности

фтора с окислительно-восстановительными, кислотнo-щелочными, сорбционными и хемосорбционными свойствами почв. Подвижность этого элемента возрастает с переходом от окислительных условий к восстановительным и от кислых к щелочным, что в значительной степени связано с неодинаковой способностью аморфных форм гидроксидов железа и алюминия фиксировать анион фтора в различных геохимических обстановках. Степень подвижности фтора снижается с увеличением содержания в почвах карбонатов кальция, илeстных и глинистых фракций.

Природный фтор малодоступен растениям. Напротив, поступающие в почву при техногенном загрязнении соединения фтора легко растворимы и доступны для растений. Значительная часть этого фтора или фиксируется глинистыми минералами, кальцием, фосфором и другими компонентами почвы, или вымывается фильтрационными водами из легких почв.

Способность почв удерживать фтор обуславливается значениями pH почвенного раствора. Наиболее высокой поглощательной способностью по отношению к фтору характеризуются кислые почвы. По мере возрастания pH способность почв связывать фторид-ион быстро падает. Почвы на известняках сорбируют примерно в 2 раза больше фтора, чем почвы на базальтах, и в 3-4 раза больше, чем песчаные почвы.

Интенсивная сорбция фтора имеет важное экологическое значение; это, в частности, снижает поступление фтора в почвенно-грунтовые воды при химическом загрязнении. Преимущественные механизмы связывания – взаимодействие фторид-иона с оксидами и гидроксидами Al и Fe. При хемосорбции фторида на гидроксидах, вероятно, обменно выделяется в раствор OH⁻ и pH равновесного раствора повышается. Связывание фторид-иона гидроксидами железа зависит от концентрации F⁻, pH и строения минеральной фазы. Минимальное связывание наблюдается при pH более 7. В кислой среде связывание фторид-иона увеличивается в ряду гематит < лимонит < гидроксид железа.

При взаимодействии фторидов с Al(OH)₃ значительная часть гидроксида алюминия растворяется вследствие образования комплекса AlF_x, если, конечно, в реагирующей системе было высокое отношение (F):(Al). При низких соотношениях фторид-иона и алюминия твердые фазы устойчивы в диапазоне pH 4–7 и интенсивно фиксируют фторид-ион. Таким образом, избыток F⁻ может переводить в раствор почвенный Al, но в диапазоне pH 4–7 твердый Al(OH)₃ может удалять F⁻ из водной фазы, очищая почвенный раствор и предупреждая загрязнение фтором природных вод и растений. Фтор вызывает сильные изменения природных почв. Добавление к почве NaF практически всегда вызывает увеличение pH, повышает растворимость органического вещества. В кислых почвах эта закономерность более выражена, чем в щелочных. Значительно увеличивается подвижность Al, Fe, Ca, умеренное увеличение характерно для Mg, K, Mn, P. Небольшое увеличение растворимости (подвижности) выявлено для Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, V, Mo, Ba (Гусакова Н.В., 2004).

6.8.27. Кадмий

Кадмий – редкий и рассеянный химический элемент. Кларк его в земной коре равен $5 \cdot 10^{-5}$ %, почве – $5 \cdot 10^{-6}$, морской воде – $1 \cdot 10^{-8}$, растениях – $1 \cdot 10^{-6}$, животных – $1 \cdot 10^{-4}$ %; технофильность* – $1 \cdot 10^9$. Для него характерны миграция в горячих подземных водах вместе с цинком и другими халькофильными элементами и концентрация в гидротермальных месторождениях. К наиболее важным минералам кадмия относятся пришибрамит (разновидность цинковой обманки, т. е. сфалерита), эритроцинкит (разновидность вюртцита), гринокит, смитсонит, отавит, монтепонит и селенид.

Кадмий характеризуется довольно однородным распространением в главных типах горных пород. Его концентрации в них, как правило, колеблются в пределах 0,03-0,3 мг/кг.

Геохимия кадмия тесно связана с геохимией цинка, но кадмий имеет большее средство к сере и обнаруживает большую подвижность в кислых средах. При выветривании кадмий легко переходит в раствор, где присутствует в виде Cd²⁺. Он может образовывать также комплексные ионы (CdCl⁺, CdOH⁺, CdHCO₃⁺, CdCl₃⁻, CdCl₄²⁻, Cd(OH)₃⁻ и Cd(OH)₄²⁻) и органические хелаты. Главное валентное состояние кадмия в природных средах +2, и наиболее важные факторы, контролирующие подвижность ионов кадмия, – это pH и окислительно-восстановительный потенциал. В сильноокислительных условиях кадмий способен образовывать собственные минералы (CdO, CdCO₃), а также накапливаться в фосфатах и биогенных осадках – биолитах.

Валовое содержание кадмия в естественных незагрязненных почвах обусловлено содержанием элемента в материнской породе и определяется генезисом, петрохимией, фаціальными различиями материнского субстрата и процессами почвообразования. Помимо этих факторов содержание кадмия в почвах также связано с реакцией среды и содержанием в почве органиче-

* Показатель, характеризующий использование химического элемента человеком.

ского вещества, биологическим круговоротом элемента, механическим составом, с процессами миграции элемента в почвенно-грунтовой слое с участием природных вод и с неоднородностью видового состава растительного покрова. Пестрота содержания кадмия в почвах обусловлена также его дифференциацией по минералам-носителям. На небольших территориях уровни элемента в обломочном кварце и высокодисперсных частицах различаются в 100 и более раз. Биологический круговорот в системе почва-растение обеспечивает поступление микроэлементов в верхние горизонты. Различные миграционные процессы, эрозия и дефляция почв могут нивелировать процессы биологической аккумуляции, поэтому верхние гумусовые горизонты иногда содержат меньше кадмия, чем иллювиальные горизонты или порода.

Среднее содержание кадмия в почвах мира колеблется от $1 \cdot 10^{-6}$ до $4,5 \cdot 10^{-4}$ %, в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья – от $1 \cdot 10^{-6}$ до $7 \cdot 10^{-5}$ %. Природное содержание кадмия в пахотном слое почв различных типов колеблется в пределах 0,01-0,2 %. Наибольшие концентрации кадмия характерны для красноземов, выщелоченных черноземов и дерново-палеоподзолистых почв. По среднему содержанию этого элемента почвы фоновых районов мира мало отличаются друг от друга.

Во многих промышленно развитых странах отмечается повышенное содержание кадмия в почвах. В Российской Федерации почвы группируют по валовому содержанию и содержанию подвижных форм химических элементов-загрязнителей, используя принцип арифметической прогрессии. Нулевая группа – фон, представляет собой величину кларка по А.П. Виноградову (1957). Первая группа по загрязненности – 2 кларка, вторая – 3 кларка. Согласно этой классификации, содержание кадмия для первой группы по загрязненности составляет 2 мг/кг, второй – 8 мг/кг, третьей – 32 мг/кг.

Нормирование кадмия в условиях загрязнения обычно сводится к поиску ПДК, при которой гарантируется получение гигиенически пригодной для человека и животных растительной продукции. Так, по данным Федеральной службы здоровья в Берлине, предельно допустимая концентрация кадмия в почвах не должна превышать 5 мг/кг, при фоновой в пределах 0,01-3 мг/кг; для всех почв Франции, Германии – 3 мг/кг при фоновом содержании 0,2 мг/кг. К настоящему времени не существует единой ПДК кадмия для всех почв мира. ПДК этого элемента, разрешаемая службами здравоохранения различных стран, колеблется в пределах 3-8 мг/кг почвы.

Распределение кадмия по профилю почв, как правило, достаточно равномерное, и различные колебания связаны с содержанием в почвенных горизонтах органического вещества, глинистой фракции, карбонатов, а также с палеопроцессами почвообразования, если они существенно влияют на современный состав почв и педогенез. В почвах у дорог с интенсивным движением транспорта наблюдается заметное накопление кадмия, его содержание на расстоянии 0-5 м от дороги составляет 0,3 мг/кг, 5-20 м – 0,2 и более 20 м – 0,1 мг/кг. Аккумуляция кадмия в верхних горизонтах почв происходит в районах с геохимически повышенным содержанием элемента в ореолах рассеяния месторождений цинковых, свинцовых и никелевых руд.

Кадмий в почвах присутствует в различных формах: в почвенном растворе – в форме свободных катионов и ассоциатов с компонентами раствора, в твердой части почвенной массы – в форме обменных катионов и их заряженных комплексных соединений, адсорбированных на поверхности почвенных частиц, в виде изоморфных примесей в структурах глинистых минералов, окклюдируемых ионов в составе осадков макрокомпонентов, гелей железа, алюминия и марганца, а также в форме собственных минералов и устойчивых осадков малорастворимых солей. Существование тех или иных форм кадмия в почвах определяется многими факторами: составом и свойствами материнской породы, генезисом почв, процессами почвообразования и массообмена, реакцией среды и окислительно-восстановительными условиями.

Чрезвычайно важное значение в образовании различных форм кадмия в почвах имеют антропогенные факторы. Они вызывают не только изменение свойств почв, нарушение естественных механизмов миграции и трансформации элементов и их соединений в почвах, но и интенсивное локальное загрязнение отдельных регионов соединениями кадмия до уровней, во много раз превышающих естественные концентрации элементов в почвах. Соединения кадмия, поступающие в почву из антропогенных источников, как правило, термодинамически неустойчивы в почвенных условиях и сравнительно быстро переходят в более устойчивые формы. Скорость трансформации зависит от состава техногенных соединений, условий среды, включая микробиологическую активность почв и размеры частиц выбросов.

Классификация идентифицируемых форм кадмия осуществляется чаще всего по подвижности элементов в почвах и по методам извлечения из почв. Среди форм соединений элемента различают 3 группы: 1) мобильные, 2) фиксированные и 3) изоморфные примеси в минералах. По методам извлечения элементов из почв различают водорастворимые, легкорастворимые, обменные, кислоторастворимые, фиксированные и прочно фиксированные, связанные с теми

или иными компонентами почвенной массы (органическим веществом, оксидами Fe, Al и Mn), образующие определенный тип соединений при взаимодействии с компонентами почв, а также переходящие в определенные вытяжки.

Поступающие в почву соединения кадмия подвергаются частичному или полному изменению под воздействием разнообразных факторов. Также происходит превращение образующихся в почвах форм соединений элемента. Эти процессы получили название трансформации. Пути трансформации форм соединений кадмия в почвах экспериментально выявили А.А. Алексеев, В.С. Горбатов и Е.В. Каплунов (1985). Предложенная ими схема трансформации соединений кадмия в почвах представлена на рисунке 81.



Рис. 81. Трансформация форм кадмия в почве

Одним из возможных механизмов трансформации соединений кадмия в почвах является образование устойчивых осадков малорастворимых солей этого элемента. Степень влияния равновесий осаждения–растворения на поведение кадмия в почвах тем больше, чем ниже растворимость образующихся малорастворимых соединений. В некоторых почвах образование осадков малорастворимых солей может играть определяющую роль ("доминирующий процесс") в поведении того или иного элемента.

Одним из наиболее важных параметров, определяющих величину сорбции ионов кадмия почвой, является значение pH почвенного раствора. При уменьшении pH увеличивается растворимость, а, следовательно, и мобильность кадмия в системе твердая фаза почвы–раствор. Увеличение кислотности способствует активному замещению ионами водорода обменно-сорбированного кадмия.

Сорбция кадмия – очень быстрый процесс: 95 % этого элемента сорбируется за 10 мин, а через 1 ч устанавливается равновесие. В интервале pH 4-7,7 сорбционная емкость почв возрастает примерно втрое при увеличении pH на единицу. Повышение концентрации кальция в почвенных растворах существенно уменьшает сорбционную емкость почвы в отношении кадмия.

Концентрация кадмия в почвенном растворе относительно низкая – 0,2-6,0 мкг/л. Высокие ее значения, порядка 300 мкг/л указывают на загрязнение почвы кадмием. Загрязненной считают почву, содержащую 400 мкг/л и более кадмия (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

В почвах, развивающихся в условиях гумидного климата, миграция кадмия вниз по профилю более вероятна, чем его накопление в поверхностном горизонте почв, поэтому часто наблюдаемое обогащение кадмием поверхностных слоев, судя по всему, связано с загрязнением. Загрязнение почв кадмием рассматривается как наиболее серьезная опасность для здоровья.

6.8.28. Мышьяк

Кларк мышьяка в земной коре равен $5 \cdot 10^{-4}$ %, почве – $4 \cdot 10^{-4}$, морской воде – $1,5 \cdot 10^{-6}$, растениях – $3 \cdot 10^{-5}$, животных – $1 \cdot 10^{-6}$ - $5 \cdot 10^{-5}$ %. Основная часть мышьяка находится в земной коре в рассеянном состоянии, присутствует как примесь, особенно в сульфидных рудных и нерудных образованиях, в т. ч. железа, меди, ртути, свинца.

Уровень содержания мышьяка в почвообразующих породах в основном наследуется от исходных горных пород, однако процесс выветривания приводит к относительному рассеиванию и перераспределению элемента между различными минеральными компонентами. Содержание мышьяка в породах Европейской части Российской Федерации колеблется от 1,8-2,1 мг/кг в моренных и покровных суглинках Русской равнины до 11,0-25,0 мг/кг в продуктах выветривания глинистых сланцев Северного Кавказа. Причиной повышенного содержания мышьяка в почвообразующих породах Северного Кавказа является наличие в регионе пород, богатых полиметаллическими рудами.

Содержание мышьяка в почвах мира колеблется от 0,1 до 40 мг/кг, а в загрязненных почвах доходит до 8000 мг/кг. Допустимая предельная концентрация этого элемента в почве – 20 мг/кг. Среднее содержание мышьяка в почвах Российской Федерации и стран ближнего

зарубежья составляет 3,6 мг/кг и колеблется в пределах 1-10 мг/кг. В подзолистых почвах мышьяк обычно находится в количестве 1,2-2,7 мг/кг, в серых лесных, черноземах – 2,9-9,6 мг/кг, в каштановых и сероземах – 2,0-2,8 мг/кг, в красноземах – 1,3-4,9 мг/кг. Верхний слой почвы содержит мышьяка больше, чем нижележащие; это объясняется поступлением его в почву с растительными остатками (Потатуева Ю.А., Залегина В.А., 1981).

Распределение форм соединений мышьяка зависит от свойств почвы. Этот элемент может находиться в виде индивидуальных химических соединений различной растворимости, в адсорбированном состоянии, в составе первичных и вторичных минералов, в соединении с органическими веществами. Последние, как правило, легко подвергаются микробному разложению.

Большой интерес представляют реакции мышьяка с первичными почвенными минералами: слюдитым мусковитом и биотитом, которые в результате выветривания дают вторичные минералы – глины монтмориллонит и каолинит, а также полторные окислы алюминия и железа. Гидроксилалюминиевые слои слюд значительно увеличивают адсорбцию мышьяка. В случае невыветрившегося биотита полимерные молекулы $Al_6(OH)_{12}^{6+}$ и $Al_{10}(OH)_{22}^{8+}$ способны наслаиваться исключительно на наружных поверхностях слюд, в то время как выветрившиеся слюды адсорбируют гораздо большее количество гидроксида алюминия, причем в расширенных внутренних слоях. Это способствует более значительному поглощению мышьяка.

Почвенные коллоиды обладают свойством адсорбировать мышьякосодежащие соединения. Факторы, влияющие на эту адсорбцию, самые различные – физико-химический характер адсорбента и адсорбата, pH почвы, температура, солевой состав. Значительную роль в поглощении почвой арсенатов имеют активные изоморфные гидратированные окиси алюминия и железа. Сорбционная способность почв по отношению к мышьяку возрастает при увеличении содержания в них окислов алюминия и железа. Это подтверждается тем, что после предварительного извлечения из почв кристаллических и аморфных соединений алюминия и железа, резко снижается поглощение ими соединений мышьяка. Все это справедливо в отношении кислых почв, в то время как в карбонатных почвах преобладают соединения мышьяка с кальцием.

Максимальная адсорбция пентавалентного мышьяка в форме арсенат-иона $H_2AsO_4^-$ на каолините и монтмориллоните происходит при pH 5; при увеличении pH до 9 эти минералы адсорбируют трехвалентный мышьяк, а адсорбция пентавалентного мышьяка значительно ослабляется. Последнее четко проявляется на выщелоченных черноземах и карбонатных почвах.

Поведение мышьяка в почвах в значительной мере зависит от степени его окисления. Под влиянием окислительных факторов трехвалентный мышьяк переходит в пентавалентную форму. Окислительно-восстановительный потенциал этого перехода равен 0,559 мВ. Значительное влияние на окисление трехвалентного мышьяка оказывает содержание коллоидов почвы, присутствие которых в больших количествах приводит к уменьшению окислительного потенциала ее и препятствует переходу трехвалентного мышьяка в пентавалентную форму. Таким образом, в песчаных почвах при наличии кислорода, Fe_2O_3 и других окислительных факторов процесс протекает интенсивнее, чем при тех же условиях в глинистой и гумусированной почве. Однако если в почвенных коллоидах много трехвалентного железа, то это приводит к возрастанию окислительного потенциала, что, в свою очередь, способствует переходу трехвалентного мышьяка в его пентавалентную форму.

В почвенном растворе мышьяк присутствует в форме арсенат-ионов и в виде органических соединений метиларсоновой и метиларсиновой кислот. Соотношение присутствующих в почвенном растворе различных форм пентавалентного мышьяка в зависимости от pH показано на рисунке 82 (Frost R., Griffin R., 1977).

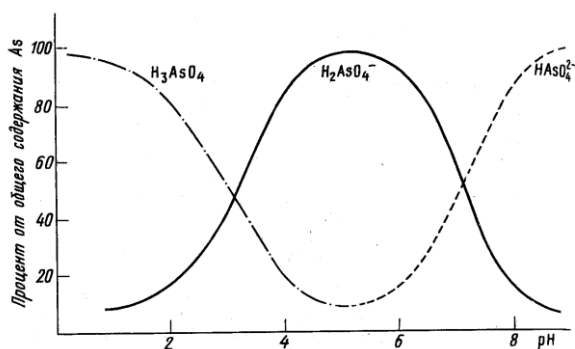


Рис. 82. Диаграмма распределения соединений пентавалентного мышьяка в почвенном растворе

Помимо pH, на содержание различных форм мышьяка оказывают влияние окислительно-восстановительные условия. Снижение потенциала несколько увеличивает растворимость твердой фазы соединений мышьяка, т. к. кислородные соединения трехвалентного мышьяка более растворимы, чем его пятивалентные формы.

В аэрируемых почвах ($E_h=400-600$ мВ) неорганический мышьяк почвенного раствора существует в форме арсенат-ионов, в кислых и нейтральных плохо аэрируемых почвах – в форме арсенит-ионов. На кислых затопленных почвах этот элемент находится в форме арсенидов.

Мышьяк почвенного раствора активно сорбируется компонентами почвы. Фиксация может происходить на обнаженной поверхности минералов почвы – глинистых минералов, оксидов и гидратов полуторных оксидов. Сорбироваться могут как неорганические, так и органические соединения мышьяка, особенно моносода метиларсоновой кислоты. Последние могут в почвенных условиях медленно окисляться и переходить в неорганические соединения. Поглотительная способность почв по отношению к анионам мышьяковой и мышьяковистой кислот увеличивается с возрастанием количества полуторных оксидов. Поглощение мышьяка может идти путем физической и физико-химической сорбции. Реакция среды оказывает существенное влияние на этот процесс. В кислой среде возможна обменная сорбция путем замещения анионов компенсирующего слоя отрицательных коллоидов на арсенат-ионы. В щелочной среде возможно безобменное поглощение арсенат-ионов в потенциалопределяющем слое отрицательно заряженных коллоидов.

Удерживаться мышьяк полуторными оксидами может и путем соосаждения с ними. Пятивалентный мышьяк соосаждается лучше, чем его трехвалентная форма (Мотузова Г.В., 1981).

Мышьяк, адсорбированный почвой, с трудом поддается десорбции, а прочность связывания этого элемента почвой со временем увеличивается. Однако, мышьяк, связанный с оксидами железа и алюминия, может высвободиться при гидролизе в результате снижения окислительно-восстановительного потенциала почв. Микробиота почв может оказывать огромное влияние на характер миграции, осаждения и улетучивания мышьяка. Его метилирование, осуществляемое определенными дрожжами в окисленных условиях и метанообразующими бактериями в отсутствие кислорода, играет важную роль в выделении летучих форм мышьяка из почвы в атмосферу.

В последнее время повышенное внимание уделяется биотрансформации органических мышьяксодержащих пестицидов, поскольку их неорганические производные могут быть весьма и весьма токсичными. Фоновые уровни содержания мышьяка в верхнем горизонте почв, как правило, невелики, хотя и превышают в несколько раз его концентрации в горных породах. В то же время содержание этого элемента в некоторых загрязненных почвах достигает высоких значений. Чаще всего значительные количества мышьяка аккумулируют почвы рисовых полей. Это связано с их высокой сорбционной способностью, а также с поступлением этого элемента с поливными водами. В условиях затопления нерастворимые формы арсената железа переходят в растворимые формы арсенита железа, которые накапливаются в растениях риса в токсических концентрациях.

6.8.29. Никель

Кларк никеля в земной коре равен $1 \cdot 10^{-2}$ %, почве – $5 \cdot 10^{-3}$ %, морской воде – $3 \cdot 10^{-7}$ %, растениях – $5 \cdot 10^{-5}$ %, животных – $1 \cdot 10^{-6}$ %.

Наиболее высокое содержание никеля характерно для ультраосновных пород (1400-2000 мг/кг); с увеличением кислотности горных пород его концентрации уменьшаются до 5-20 мг/кг. В осадочных породах они изменяются от 5 до 90 мг/кг, причем наиболее высокие значения характерны для глинистых отложений, а наиболее низкие – для песчаников.

В изверженных породах никель изоморфен двухвалентным катионам железа и магния, что объясняется близостью ионных радиусов этих элементов (γ Mg²⁺ и Ni²⁺ 78 пм). В биосфере тесные связи никеля, железа и магния нарушаются, и каждый из них мигрирует по-разному. Известно более 50 собственных минералов никеля, большинство их образовалось при высоких температурах и давлениях. К наиболее распространенным никельсодержащим минералам относятся пентландит, миллерит, халькопирит, кубанит, пирротин, магнетит, сперриллит, гарниерит, непуит, никелевый керолит, феррогаллуазит, нотронит, керолит, серпентин, гетит и асболоаны.

В континентальных отложениях никель присутствует главным образом в виде сульфидов и арсенидов и часто замещает железо в железомagneзиальных соединениях. Он также ассоциируется с карбонатами, фосфатами и силикатами. При выветривании горных пород никель легко высвобождается, а затем осаждается преимущественно с оксидами железа и марганца. Однако, подобно двухвалентным катионам марганца и железа, двухвалентный никель относительно стабилен в водных растворах и способен мигрировать на значительные расстояния. При

выветривании никельсодержащих горных пород возможно образование глинного минерала гарниерита $(Ni,Mg)SiO_3 \cdot nH_2O$. Последнее главным образом происходит в условиях тропического климата. Органическое вещество обнаруживает способность к абсорбции никеля, вероятно, поэтому он концентрируется в угле и нефти.

Никель в почве обычно содержится в количестве 20-50 мг/кг, а в загрязненных почвах – до 1000 мг/кг. Допустимая предельная концентрация этого элемента в почве – 50 мг/кг. Самое высокое содержание никеля наблюдается в глинистых и суглинистых почвах, в почвах на основных и вулканических породах и в почвах, богатых органикой. Особенно высокими уровнями содержания отличаются торфянистые серпентинитовые почвы, в которых этот элемент присутствует в виде легкорастворимых органических комплексов. Почвы аридных и семиаридных регионов также характеризуются высокими концентрациями никеля.

Среднее содержание валового никеля в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья колеблется от 11 до 33 мг/кг. В дерново-подзолистых почвах этот элемент содержится в количестве 11 мг/кг, лесных – 33, каштановых и бурых – 20, черноземах – 30, солончаках и солонцах – 25 мг/кг.

Содержание никеля в почвах во многом определяется его количеством в материнских породах. Однако уровень концентрации никеля в верхнем слое почв зависит также от почвообразующих процессов и техногенного загрязнения.

Распределение никеля в почвенном профиле зависит от содержания как органического вещества, так и аморфных оксидов и глинистой фракции, которые определяются типом почвы. Концентрация никеля в почвенном растворе в основном равна 0,005-0,05 мг/л.

В почвах никель присутствует в составе почвенных минералов, в связанном с оксидами железа и марганца состоянии, а также может быть представлен легкорастворимыми хелатами и в ионной форме. В почвенном растворе возможны следующие ионные формы этого элемента: Ni^{2+} , $NiOH^+$, $HNiO_2^-$ и $Ni(OH)_2^-$. Концентрация и форма нахождения никеля в почвенном растворе зависят от соотношения следующих процессов: коагуляции, осаждения, сорбции, комплексообразования и хелатообразования с растворенными органическими и неорганическими лигандами.

Растворимость никеля в почвах находится в обратной зависимости от величины pH. С развитием восстановительных процессов подвижность этого элемента в почвах возрастает.

6.8.30. Ртуть

Кларк ртути в земной коре равен $7 \cdot 10^{-6}$, почве – $1 \cdot 10^{-6}$, морской воде – $3 \cdot 10^{-9}$, растениях – $1 \cdot 10^{-7}$, животных – $1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ %.

В соединениях ртуть может быть как двухзарядной, так и формально однозарядной; она характеризуется высоким потенциалом ионизации и окислительным потенциалом, является химически стойким элементом. Одной из главных особенностей иона ртути является способность к образованию комплексных соединений с координационными числами от 2 до 8. Связь "ртуть–лиганд" во всех комплексах является ковалентной. Наиболее устойчивы комплексы с лигандами, содержащими атомы галогенов, углерода, азота, фосфора, серы. Ртуть образует также значительное число комплексов с органическими реагентами, характеризующихся высокой прочностью (8-меркаптохинолин, тиомочевина). Известны и ртутьорганические соединения типа $RHgX$ или R_2Hg , обнаруженные в последнее время в различных компонентах биосферы — донных осадках, природных водах.

Ртуть встречается в природе как в самородном состоянии, так и в соединениях, образуя самостоятельные ртутные минералы: киноварь, тиманит, ливингстонит, монтридит HgO , колорадоит, каломель, эглестонит, терлингуаит и кордероит. Ртуть входит в качестве изоморфной или механической примеси в состав реальгара, антимонита, молибденита, пирита, пирротина, сфалерита, халькопирита и других минералов; среднее содержание ртути в каменном угле $1 \cdot 10^{-6}$ %.

Во всех типах магматических пород содержание ртути очень низкое. Более высокие концентрации этого элемента установлены в осадочных породах (табл. 50; Jonasson J.R., Boyll R.W., 1972; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Таблица 50 – Содержание ртути в горных породах, мг/кг

Осадочные породы	Содержание	Магматические породы	Содержание
Глины	0,4	Ультраосновные	0,0004
Сланцы	0,04	Основные	0,001
Песчаники	0,005	Средние	0,0009
Известняки	0,004	Кислые	0,0004

К наиболее важным геохимическим свойствам ртути А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (1989) относят: склонность к образованию прочных связей с серой; образование органо-минеральных соединений, сравнительно устойчивых к водной среде; летучесть элементарной ртути. Эти геохимические особенности ртути обуславливают распространение ее соединений в окружающей среде, а также повышают их токсичность. По токсикологическим свойствам соединения ртути классифицируются на следующие группы: элементарная ртуть, неорганические соединения, алкилртутные (метил и этил-) соединения с короткой цепью и другие ртуть-органические соединения.

За геологическое время в биосферу в результате природных процессов (вулканическая деятельность) поступило около $1,6 \cdot 10^{10}$ т ртути. Около 0,1% остается в океанах в растворенном виде.

Биогеохимический цикл ртути Hg – пример круговорота природного элемента, который почти не влиял на организмы до наступления индустриальной эры. Ртуть химически мало подвижна, а концентрации ее в природе невелики. Разработка месторождений и промышленное использование увеличили поток ртути в атмосферу. Соответственно увеличился и ее сток с поверхностными водами. Увеличение содержания ртути, как, впрочем, и других тяжелых металлов (кадмия, меди, цинка, хрома) в окружающей среде стало серьезной проблемой.

На рисунке 83 показаны оценки потоков ртути в сравнении с ее потоками в доиндустриальный период (Гусакова Н.В., 2004). Запасы ртути указаны в прямоугольниках в сотнях тонн, а потоки (стрелки) – в сотнях тонн в год. Цифры в скобках показывают потоки до появления человека. Штрихами обозначены два новых потока, порожденных деятельностью человека.

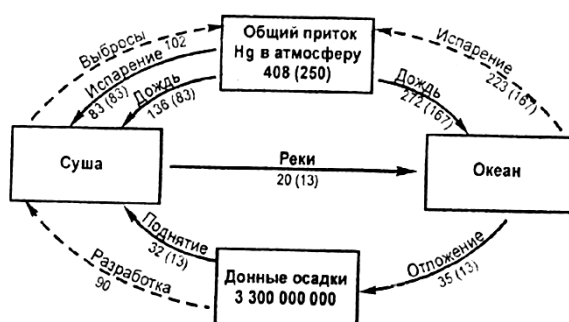


Рис. 83. Схема круговорота ртути

В результате разработки отложений и увеличения выбросов ртути возрастает ее количество в почвах, воде, живых организмах. При этом микроорганизмы, участвующие в круговороте, превращают ее нерастворимые формы в растворимую, очень подвижную и очень ядовитую - метилртуть.

Ртуть обычно содержится в почве в количестве 0,01-1 мг/кг, достигая иногда 500 мг/кг, что обусловлено влиянием материнских пород. Предел допустимого содержания ртути в почве – 2 мг/кг. Фоновое содержание ртути в почвах Российской Федерации колеблется в пределах 0,05-0,20 мг/кг (табл. 51; Добровольский В.В., 1989; Зырин Н.Г., Звонарев Б.А., Садовникова Л.К., 1981).

Таблица 51 – Содержание ртути в основных типах почв в Российской Федерации, мг/кг

Почвы	Содержание	Почвы	Содержание
Дерново-подзолистые	0,05-0,10	Черноземы	0,20-0,40
Серые лесные	0,10-0,15	Каштановые	0,10-0,20

Уровень содержания ртути в почвах, как правило, выше, чем в почвообразующих породах, в 1,5-15 раз. Независимо от состава почвообразующих пород, повышение в 2-3 раза концентрации ртути отмечено в пойменных почвах аккумулятивных ландшафтов, а также в почвах, сформированных на продуктах выветривания вулканических пород.

В нейтральной и слабощелочной среде миграция ртути ограничена, и ее распределение по почвенному профилю характеризуется низкой контрастностью; содержание элемента в гумусовом горизонте, как правило, выше, но мало отличается от его количества в мелкоземной элювии коренных пород. В пойменных почвах незасоленного ряда (болотные, лугово-болотные, луговые) установлено повышенное фоновое значение ртути. Повышенное содержание ртути в луговых

почвах обуславливается как более высокой гумусованностью, так и принадлежностью почв к супераквальным ландшафтам, являющимся конечным пунктом транспортировки вещества от автономного через трансэлювиальный и аккумулятивно-аллювиальный к супераквальному.

Обогащение гумусового горизонта почвы ртутью, как правило, является результатом фиксации элемента органическим веществом почвы. Существует корреляционная связь между содержанием ртути и гумусированностью почвы. Причиной повышенного содержания ртути в верхнем гумусовом горизонте почв в какой-то степени могут быть и используемые в сельском хозяйстве ртутьсодержащие химические препараты. Дифференциации ртути в почвенном профиле способствуют также промывной тип водного режима и кислая реакция среды.

Ртуть в почвах может присутствовать в трех состояниях: элементарном Hg^0 , одновалентном – Hg_2^+ и двухвалентном – Hg^{2+} (рис. 84; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

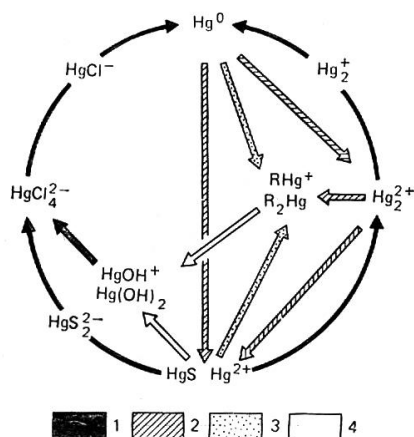


Рис. 84. Ионные формы и превращения соединений ртути в почвах.

1 – восстановление; 2 – окисление; 3 – образование органических соединений;
4 – гидролиз; R – органические радикалы: CH_3 , CH_3CH_2 , C_6H_5 .

Ртуть малоподвижна при выветривании. Поступая в почву, она сравнительно легко связывается в элементарной форме и в виде катионных или анионных комплексов; накапливается в почве преимущественно в форме слабоподвижных органических комплексов. При нейтральных и щелочных значениях pH в почвенном растворе преобладающей формой ртути является $Hg(OH)_2$. Сорбция ртути глинами в почве относительно ограничена и слабо варьирует при изменении pH. В кислых глеевых почвах может иметь место образование HgS и даже металлической ртути. В значительных количествах сульфид ртути способен накапливаться в затопленных почвах рисовых полей. Фиксация ртути в почве наиболее интенсивно происходит в присутствии серы, что позволяет использовать внесение серы в сильнозагрязненные почвы для связывания ртути в нерастворимое соединение. Все же накопление этого элемента в почве в основном контролируется образованием органических комплексов и осаждением. Поэтому подвижность ртути, прежде всего, зависит от процессов растворения и биологического разрушения органо-ртутных соединений. Органические почвы и почвы рисовых полей больше, чем какие-либо другие, могут удерживать ртуть благодаря разложению растительности и поглощению из атмосферы.

Поскольку при испарении ртуть легко теряется, то обычно ее содержание в почве низкое. Однако в определенных условиях может происходить метилирование ртути, с образованием метилата. Это явление носит крайне нежелательный характер, т. к. метил- и диметилртутные соединения устойчивы в воде, летучи. В результате метилирования возрастает мобильность ртути в почвах и возможность испарения из верхнего горизонта в атмосферу. В нативных почвах содержание метилртути ничтожно и составляет менее 1 % от валового количества элемента. Его появление в почвах в заметных количествах возможно при использовании в сельском хозяйстве ртутьсодержащих фунгицидов. С пестицидами ежегодно попадает в почву 3-4 г/га ртути. Неорганические соединения этого элемента, попадая в почву, хорошо адсорбируются гумусом и частично глинистыми минералами. Попавшие в почву различные органические соединения ртути (метил-, этил- и фенилпроизводные) отчасти разрушаются или адсорбируются почвами. Органические соединения ртути, обладая низкой степенью диссоциации и будучи

менее адсорбируемы илистой фракцией почвы, легче поглощаются растениями. Порядок адсорбции следующий: метилртуть > этилртуть > фенилртуть, сульфат ртути является наименее адсорбируемым. В почве ртуть даже в небольших количествах, взаимодействуя с активными группами белков и аминокислот, замедляет биохимические процессы, что приводит к снижению интенсивности гумификации и разложения органического вещества.

Валовое содержание ртути в почве довольно постоянно в течение года; коэффициент вариации его не превышает 12 %, в то время, как количество подвижных форм элемента, извлекаемых 1 н. раствором HCl, подвержено значительным изменениям – от 10 до 70 % от общего содержания элемента в почве. Наибольшие концентрации подвижных форм ртути отмечены в верхних органических горизонтах почвы с постепенным уменьшением их вниз по профилю. В значительной мере отражая характер распределения валового содержания элемента, профильное распределение его подвижных форм подчеркивает генетические особенности почв: отмечается некоторое увеличение содержания в иллювиальных горизонтах серой лесной почвы и в карбонатных и некарбонатных горизонтах выщелоченного чернозема. Наибольшая динамичность в содержании кислоторастворимых форм элемента отмечается лишь для верхней части профиля: до 40-50 см в серой лесной почве и до 30-40 см в черноземе выщелоченном. Амплитуда колебаний (разность между максимальными и минимальными величинами концентраций, определяемыми в пределах одного горизонта) четко выражена именно в этих горизонтах. Для горизонтов средней и особенно нижней части профиля почв характерно довольно устойчивое постоянство концентраций подвижной формы элемента; амплитуда колебаний постепенно уменьшается, совершенно затухая в горизонтах почвообразующих пород.

Количество подвижных форм ртути в почве зависит от сезона и погодных условий. Наибольшее содержание подвижных форм элемента отмечается в зимний и ранневесенний периоды года. Наименьшее содержание характерно для летнего сезона. Сильное иссушение почвы и высокая температура воздуха и верхних слоев почвы в летние месяцы, по мнению автора, являются причиной снижения содержания подвижной формы ртути в летний период. Таким образом, подвижность ртути определяется как генетическими особенностями почв, так и сезонными экологическими параметрами – температурой и влажностью почвы. В теплый период года количество подвижных форм элемента в почвах понижается, в холодный – значительно возрастает.

6.8.31. Свинец

Кларк свинца в земной коре равен $1,6 \cdot 10^{-3} \%$, почве – $1 \cdot 10^{-3}$, морской воде – $5 \cdot 10^{-4}$, растениях – $1 \cdot 10^{-5}$, животных – $1 \cdot 10^{-6} \%$; технофильность – $2 \cdot 10^9$.

В характерных для биосферы условиях свинец представлен соединениями со степенями окисления +2 и +4 (оксид PbO и диоксид свинца PbO₂). Более устойчивы и распространены в природе соединения Pb(II). Наибольшее влияние на состояние свинца в почвах могут оказывать анионы: CO₃²⁻, OH⁻, S²⁻, PO₄³⁻ и SO₄²⁻. Попадающий при химическом загрязнении в почву свинец сравнительно легко образует гидроксид при нейтральной или щелочной реакции. Если почва содержит растворимые фосфаты, тогда Pb(OH)₂ переходит постепенно в Pb₃(PO₄)₂ или другие труднорастворимые фосфаты, например плумбогуммит PbAl₃H(OH)₆(PO₄)₂. Эти соединения преимущественно определяют уровень содержания Pb в почвенных растворах, который в нейтральной среде близок к 10⁸ моль/л.

Концентрация свинца возрастает от вещества верхней мантии к гранитному слою земной коры. Накопление этого элемента в земной коре связано не только с его активным выплавлением из вещества мантии, но также с образованием радиогенных изотопов ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb и ²⁰⁸Pb в результате радиоактивного распада изотопов урана ²³⁵U, ²³⁸U и тория ²³²Th. Помимо основного рассеянного состояния, он входит в состав более чем 200 минералов, и только три из них образуют промышленные запасы элемента: галенит PbS, англезит PbSO₄ и церрусит PbCO₃.

При выветривании горных пород происходит освобождение ионов Pb²⁺ из кристаллических структур породообразующих минералов. Характерной особенностью свинца является тенденция к образованию им соединений слабой растворимости с главными компонентами – анионами природных вод и почвенного раствора. Гидроксиды, карбонаты и сульфиды свинца могут выступать в качестве ограничителей растворимости и миграции элемента. В широком диапазоне природных условий (Eh-pH) свинец присутствует преимущественно в двухвалентной форме.

Растворимость соединений свинца в диапазоне pH 8,5-11,0 и восстановительных условиях при pH 2 низкая – менее чем 1 мкг/л; в интервале pH 6-8 растворимость элемента является сложной функцией pH, концентрации CO₂ и соединений серы в воде. Наличие значительного количества фосфат-ионов в природных растворах снижает концентрацию свинца. Но, как правило, в природных водах фосфат-ионы не присутствуют в достаточно большом количестве, чтобы определять судьбу растворенного свинца, однако этот фактор может быть определяющим в почвенном растворе при внесении фосфорных удобрений. При pH выше 6 из 0,1 М рас-

творов соединений свинца осаждается его гидроксид, который неустойчив и, теряя гидратную воду, переходит в PbO.

Естественные концентрации свинца в верхних горизонтах различных почв мира колеблются в пределах 3-189 мг/кг; средние значения по типам почв составляют 10-67 мг/кг. Содержание этого элемента в почве вблизи автодорог достигает 600-700 мг/кг. В почвах Русской равнины содержание свинца колеблется в пределах $(0,37-4,33) \cdot 10^{-3} \%$.

В типичных зональных почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья нормальное или фоновое содержание свинца следующее: тундрово-глеевые – 15-29 мг/кг, дерново-подзолистые – 6-15 мг/кг, серые лесные – 10-25 мг/кг, черноземы – 13-28 мг/кг, каштановые – 18-26 мг/кг, красноземы – 20-38 мг/кг.

Содержание свинца в почвах определяется прежде всего региональными факторами: составом почвообразующих пород, рельефом местности, климатом, растительным покровом. В последнее время к перечисленным факторам прибавился антропогенный источник поступления элемента. Чтобы оценить его влияние, необходимо знание естественных, т. е. фоновых уровней содержания свинца, так называемых точек отсчета, по которым впоследствии можно будет следить за изменениями, происходящими в почвах. Под фоновым подразумевается содержание элемента в почвах на большом удалении от районов поступления загрязнений. Фоновое содержание свинца в каждом типе почв зависит главным образом от состава почвообразующих пород. Для каждого типа почв характерны незначительные колебания в содержании свинца, обусловленные составом почвообразующих пород.

Концентрации свинца в почвах увеличиваются за счет его поступления из атмосферы, с орошаемой водой, при дренаже горнорудных разработок, в результате использования в сельском хозяйстве свинецсодержащих химикатов.

Почвообразовательный процесс вносит существенные коррективы в распределение свинца по профилю почвы. Перераспределение этого элемента в профиле почв происходит под воздействием различных химических процессов: осаждения-растворения, адсорбции глинистыми минералами и полуторными оксидами, взаимодействия с органическим веществом. Хотя формы нахождения свинца в разных типах почв могут существенно различаться, все же можно заключить, что он ассоциируется главным образом с глинистыми минералами, оксидами железа и алюминия, органическим веществом. В некоторых почвах свинец может концентрироваться в частицах карбоната кальция или в фосфатных конкрециях.

Свинец легко сорбируется глинистыми минералами, сорбция может быть обменной и специфической. Энергия поглощения этого элемента выше, чем других физиологически важных микроэлементов и кальция, благодаря чему он защищен от выщелачивания и остается в почве в поглощенной, но относительно доступной растениям форме. Обогащение свинцом некоторых горизонтов почв связано с накоплением глинистых минералов. Практически весь поглощенный свинец почвы является обменным. Свинец входит в межпакетные пространства, т. е. поглощение элемента минералами вызывает уменьшение межпакетных расстояний. Монтмориллонит и вермикулит могут фиксировать не только катион Pb^{2+} , но и комплексы типа $(PbOH)^+$.

Свинец может соосаждаться с некоторыми труднорастворимыми соединениями: карбонатами, гидроксидами металлов. Кроме того, он может быть представлен индивидуальными труднорастворимыми соединениями, например гидроксилпироморфитом, а в присутствии хлорид-иона – хлорпироморфитом.

Лучшими аккумуляторами этого элемента являются гематит и оксиды марганца. Основным механизмом сорбции свинца гематитом является адсорбция на поверхности минерала. В зависимости от pH могут сорбироваться свободные катионы свинца и его гидроксокомплексы. Сорбция свинца оксидами марганца в 40 раз превышает его сорбцию оксидами железа, при этом свинца сорбируется больше, чем необходимо для создания монослоя в межслоевых промежутках. Однако в распространенных почвах оксиды марганца редко встречаются в значительных количествах, поэтому сорбция свинца этими минералами оказывает не столь существенное влияние на его перераспределение в почвенном профиле.

Фиксация и уровень сорбции свинца глинистыми и вторичными минералами также зависят от pH. Например, при увеличении pH с 4,7 до 5,9 сорбция свинца гетитом возросла от 8 до 63 %. Свинец удерживается иллитом, монтмориллонитом, каолинитом, вермикулитом и гидробиотитом более прочно, чем другие металлы. R.L. Mitchell (1971) получил следующий убывающий ряд металлов по прочности связи с глинистыми минералами: $Cu > Pb > Ni > Co > Zn > Ba > Rb > Sr > Ca > Mg > K > Na > Li$. Если кобальт и кальций приблизительно равноконкурентны за обменные места, то свинец поглощается в 2-3 раза более интенсивно, чем кальций.

Органическое вещество является важным компонентом, ответственным за перераспределение свинца в почве. Механизмы их соединения могут быть различными: труднорастворимые соединения типа солей с гумусовыми кислотами, адсорбция на поверхности молекул гумусовых кис-

лот за счет электростатических сил или с образованием химических связей (хемосорбция), образование комплексных соединений с органическим веществом. Как и другие поливалентные элементы, свинец обладает значительной способностью к образованию внутрикомплексных соединений (хелатов). Хелатирующими агентами могут быть неспецифические и специфические гумусовые вещества. В результате хелатизации строится сложная решетчатая структура (полимер), отдельные части которой способны сцепляться катионами тяжелых металлов. Хелатные соединения свинца с органическим веществом обладают значительными константами устойчивости, которые можно оценить, исходя из прочности связи металла с ЭДТА.

Свинец образует стабильные комплексы с гуминовыми кислотами (ГК) и фульвокислотами (ФК). Количество элемента, комплексируемое единицей ФК, относительно высокое по сравнению с другими металлами. Комплексы Pb-ГК более устойчивы, чем комплексы ГК с цинком и кадмием. Адсорбция свинца гумусом, способность к комплексообразованию и устойчивость образующихся соединений увеличиваются с повышением pH. В кислой среде свинец, как кадмий и цинк, более подвижен.

Растворимость свинца может быть сильно понижена известкованием. При высоких значениях pH он будет осаждаться в почве в виде гидроксида, фосфата, карбоната; эти же условия способствуют образованию свинецорганических комплексов.

Уровень концентрации свинца в почвенных растворах некарбонатных почв регулируется растворимостью таких соединений, как $Pb(OH)_2$, $Pb_3(PO_4)_2$, $Pb_4O(PO_4)_2$ и $Pb_5(PO_4)_3OH$, а в карбонатных почвах – еще и $PbCO_3$. При взаимодействии свинца с почвами устойчивые соединения в твердой фазе образуются не сразу и не обязательно путем прямой реакции. Осаждение, например, труднорастворимых соединений происходит ступенчато: от менее к более стабильным соединениям (Jurinak J.J., Santillan-Medrano J., 1974). На растворимость соединений свинца в почвах влияют также процессы гидролиза и комплексообразования с хлоридами. При концентрации хлоридов порядка 350-6000 мг/кг свинец, как и цинк, находится в растворе преимущественно в виде гидроксокомплексов; ртуть и кадмий в этих условиях комплексируются главным образом с хлоридами.

Для рисовых затопляемых почв не только pH, но и окислительно-восстановительный потенциал влияет на мобилизацию и иммобилизацию свинца в почвах и его доступность для растений.

Подвижность соединений свинца в почвах аридных и полуаридных зон незначительна даже в присутствии избыточных количеств металла. Карбонатные почвы, почвы с высоким pH, а также карбонатные горизонты – эффективные поглотители ("фиксаторы") свинца (Минеев В.Г., Алексеев А.А., Тришина Т.А., 1982).

6.8.32. Хром

Кларк хрома в земной коре равен 0,02 %, почве – 0,019, морской воде – $2 \cdot 10^{-9}$, растениях – $5 \cdot 10^{-4}$, животных – $1 \cdot 10^{-5}$; талассофильность – $2 \cdot 10^{-7}$; технофильность – $2 \cdot 10^8$.

Хром отличается широким разнообразием состояний окисления (от +2 до +6), а также способностью образовывать как отрицательно, так и положительно заряженные комплексные ионы, например $Cr(OH)^{2+}$ и CrO_4^{2-} . В природных соединениях он имеет степени окисления +3 и +6. Высокоокисленные формы хрома менее устойчивы, чем Cr^{3+} .

Хром относится к весьма распространенным элементам. Он находится в виде соединений в различных минералах. Часто хром сопутствует железу или замещает алюминий, трехвалентное железо и другие элементы в различных минералах. Известно свыше 25 минералов хрома, важнейшие из них – хромит, крокоит, уваровит, стихтит, лопецит, добрелит, вокеленит, кочубейт, камерейт, волконскоит и клинохлор. Хром более характерен для мантии Земли, т. к. ультраосновные породы, которые ближе всего по составу к мантии Земли, обогащены этим элементом – 1600-3400 мг/кг

Хром в почве обычно содержится в количестве 2-50 мг/кг, а в сильно загрязненных почвах его концентрация может достигать 20000 мг/кг; предельно допустимая концентрация – 100 мг/кг.

В почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья в среднем содержится около $1,9 \cdot 10^{-2}$ % хрома. В почвах тундры его содержание колеблется в пределах $5 \cdot 10^{-4}$ - $2,3 \cdot 10^{-2}$ %; дерново-подзолистых – $2,2 \cdot 10^{-3}$ - $2,95 \cdot 10^{-2}$ %; серых лесных – $2,7 \cdot 10^{-3}$ - $7,6 \cdot 10^{-2}$ %; черноземах – $1,6 \cdot 10^{-2}$ - $6,3 \cdot 10^{-2}$ %; красноземах – $1 \cdot 10^{-2}$ - $2,6 \cdot 10^{-2}$ %; сероземах и каштановых почвах – $1,1 \cdot 10^{-2}$ - $5,7 \cdot 10^{-2}$ %.

Поведение хрома в почвах в значительной степени зависит от его валентного состояния. В пределах Eh и pH, соответствующих почвам, хром может существовать в четырех состояниях: трехвалентных формах в виде Cr^{3+} и CrO_2^- и шестивалентных – CrO_4^{2-} и $Cr_2O_7^{2-}$.

Трехвалентный хром по поведению в почвах и химическим свойствам очень похож на алюминий, особенно по отношению к изменению кислотности среды. Растворимость трехвалентного хрома значительно уменьшается при $pH > 4$, а при pH 5,5 начинается его осаждение (рис. 85; Bartlett R.J., Kimble J.M., 1976).

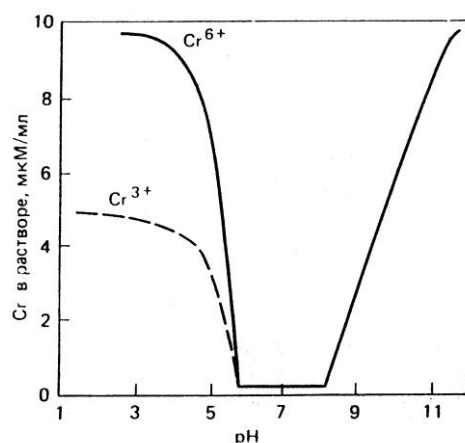
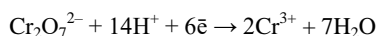


Рис. 85. Растворимость соединений трех- и шестивалентного хрома в зависимости от pH

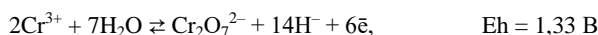
Чрезвычайно низкая растворимость $\text{Cr}(\text{OH})_3$ при $\text{pH} > 5,5$ предохраняет его от вымывания в грунтовые воды и поглощения растениями. В почвенных растворах Cr^{2+} и Cr^{3+} могут образовывать аквакатионы $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ и $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, а Cr^{6+} — полиоксоанионы или частицы состава $(\text{Cr}_4\text{O}_{13})^{2-}$. В щелочной среде возможны лишь монооксоанионы — CrO_4^{2-} . В кислой среде соли Cr^{6+} — сильные окислители, что определяет их поведение:



Хром и его соединения поглощаются гумусом и глинистыми минералами с образованием сложных комплексных соединений. Из глинистых минералов наибольшей адсорбирующей способностью катионов трехвалентного хрома обладает монтмориллонит, наименьшей — каолинит. Все остальные минералы располагаются в следующем порядке по возрастанию способности поглощать Cr^{3+} : иллит < дикит < галлузит < аттапульгит < нонтронит. Наилучшими десорбентами трехвалентного хрома являются катионы алюминия, за ним следуют $\text{Mg} > \text{NH}_4 > \text{K} > \text{Na}$. До 5 % хрома может фиксироваться кварцевым песком из растворов CrCl_3 , $\text{Cr}(\text{SO}_4)_3$ и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (Любимова И.Н., 1979).

Из органических соединений в комплексообразовании принимают участие аминокислоты, кислоты жирного ряда (двухосновные, оксикислоты), ароматические соединения (полифенолы, галлольные кислоты), гетероциклические вещества типа хинолина, гуминовые и фульвокислоты. С гуминовыми кислотами хром образует довольно прочные комплексы, более прочные, чем с медью.

Добавленный в почву или существующий в ней трехвалентный хром может окисляться до шестивалентного. Окисление способствует переходу малоподвижного в почвенных условиях трехвалентного хрома в мобильный, более токсичный Cr^{6+} :



Акцептором электронов может выступать марганец: Mn^{3+} , Mn^{4+} . Окисление уменьшается с увеличением pH. Необходимо отметить, что окислительную способность проявляет только свежая почва при полевой влажности. R. Bartlett и, V. James (1979) считают, что окисление трехвалентного хрома постоянно происходит в условиях, характерных для большинства почв. Однако в кислых почвах, в которых марганец существует в основном в восстановленной форме, окисления не отмечается. Не происходит окисление и в почвах, обедненных марганцем.

Шестивалентный хром может существовать в виде хромат-иона CrO_4^{2-} в щелочных почвах с pH 8-9, в пустынных условиях, в присутствии вод с повышенным содержанием кислорода. При этом соединения шестивалентного хрома могут свободно мигрировать с водными потоками. Поглощение растворимого и токсичного Cr^{6+} , формирующегося в почвах или добавленного к ним, может происходить в результате процессов образования труднорастворимых соединений, анионной адсорбции и восстановления с последующим осаждением трехвалентного хрома. Значительная роль в поглощении растворимого Cr^{6+} принадлежит адсорбции. Хромат-ион формирует двухядерные мостиковые комплексы с гетитом или оксидами алюминия и другими почвенными коллоидами с положительно заряженной поверхностью. Хромат-ион может также быть адсорбирован путем лигандного обмена, подобно обмену MoO_4^{2-} на полуторных оксидах железа и алюминия, но не аккумулируется на частицах марганца. Способность шестивалентно-

го хрома соосаждаться с гидроксидом железа координационным присоединением гидролизированных ионов Cr^{6+} к $\text{Fe}(\text{OH})_3$ отмечена в интервале pH 5,5 до 13,9. Механизм осаждения хромат-ионов гидроксидов железа и алюминия объясняется адсорбцией, но в зависимости от условий протекания процесса не исключена возможность хемосорбции. Адсорбция шестивалентного хрома зависит от величины pH: с возрастанием кислотности увеличивается адсорбция хромат-ионов, что, вероятно, связано с количеством положительных зарядов на почвенных коллоидах. В присутствии HPO_4^{2-} и SO_4^{2-} адсорбция Cr^{6+} значительно уменьшается; при избытке фосфат-ионов в равновесном растворе адсорбция прекращается полностью. Связано это с тем, что фосфат- и хромат-ионы конкурируют за одни и те же адсорбционные места.

В почвах возможно восстановление шестивалентного хрома в трехвалентную форму. В качестве восстановителя в аэрируемых почвах будут выступать легкоокисляемые органические вещества, а в анаэробных условиях эту роль будут выполнять восстановленные железо и сера (Fe^{2+} и S^{2-}). В обоих случаях низкие значения pH благоприятствуют быстрому восстановлению. Активно восстановление происходит в почвах, богатых органическим веществом; для почв, лишенных его, получены отрицательные результаты.

Формы, подвижность и миграция соединений хрома в почве определяются: 1) содержанием и характером соединений его в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержанием в ней глинистых минералов, свободных полтораоксидов железа, алюминия, реакции среды, водного и окислительно-восстановительного режимов; 3) равновесием между органическими и минеральными элементами в системе почва–растение. Цикл хрома в почве можно изобразить в виде схемы (рис. 86; Любимова И.Н., 1979).

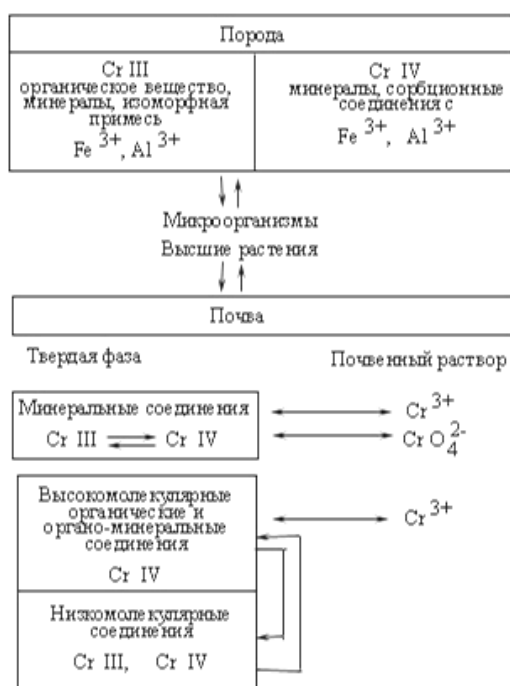


Рис. 86. Цикл хрома в почве.

В почвах хром представлен следующими формами его соединений: 1) неподвижный; 2) прочносвязанный в составе первичных и частично вторичных глинистых минералов, с полтораоксидными гидроксидами железа и алюминия; 3) обменносвязанный на поверхности полтораоксидов и глинистых минералов; 4) связанный с органическими компонентами почв; 5) водорастворимые соединения.

Легкорастворимые и обменные формы хрома, появляющиеся спонтанно в результате биологических процессов, воздействия корневой системы, микроорганизмов, наличия в почвенном растворе органических кислот и уголекислоты, – эфемерны. Сорбированные, вначале непрочно, ионы хрома образуют химические труднорастворимые соединения (хемосорбированное состояние) и со временем окклюдуются гидроксидами железа, алюминия, прочно фиксируются гумусом.

Валовое содержание хрома в почвах зависит от содержания элемента в почвообразующей породе, а распределение – от почвообразовательного процесса. Распределение хрома по почвенному профилю практически не зависит от содержания гумуса, а находится в зависимости от гранулометрического состава, в частности, накопление элемента связано с наличием илистой фракции. В почвах дерново-подзолистой зоны в результате процессов оподзоливания происходит обеднение верхней части профиля тонкодисперсными частицами и соединениями полуторных окислов, которые выносятся и концентрируются в иллювиальных горизонтах. Вместе с ними передвигается и хром, поэтому распределение и содержание его в этих почвах идет параллельно изменению в них количества железа, алюминия и илистой фракции. Относительное содержание хрома в илистой фракции этих типов почв ниже всего в горизонте A_2 , наибольшее – в горизонтах **B** и **C**. Распределение хрома по профилям каштановой и солонцевой почв равномерное. В верхних горизонтах черноземов накопления хрома не отмечено, но может иметь место увеличение его содержания в карбонатных и надкарбонатных горизонтах. В лугово-глеевых и дерново-глеевых почвах, образовавшихся под травянистой растительностью, отмечается обогащение гумусовых горизонтов и закономерное уменьшение содержания хрома с глубиной. Такой характер распределения элемента в этих почвах объясняется биогенной аккумуляцией. Для бурых лесных и бурых псевдоподзолистых почв, образовавшихся под древесной растительностью, характерно уменьшение содержания хрома в верхних гумусовых горизонтах по сравнению с почвообразующей породой.

В результате антропогенного загрязнения отмечается возрастание содержания хрома в поверхностном слое почв. Главными его источниками являются некоторые промышленные отходы (гальванические осадки, отходы кожевенных заводов и производств, где хром используется в составе пигментов и красителей) и осадки сточных вод. Поступающий из техногенных источников хром обычно накапливается в тонком поверхностном слое почв.

Известкование, а также применение фосфорных органических удобрений существенно снижают токсичность хроматов в загрязненных почвах. При загрязнении почв хромом (VI) подкисление, а затем применение восстанавливающих агентов (например, серы) используются для восстановления его до хрома (III), после чего проводится известкование для осаждения соединений Cr (III).

6.8.33. Стронций

Кларк стронция в земной коре равен $4 \cdot 10^{-2}$ %, почве $-3 \cdot 10^{-2}$, морской воде $-1 \cdot 10^{-3}$, растениях $-1 \cdot 10^{-4}$, животных $-1 \cdot 10^{-3}$ %.

В геохимических процессах стронций аналог кальция, ионные радиусы их близки. Известно около 30 минералов стронция; главные из них целестин и стронцианит. Стронций концентрируется преимущественно в магматических породах среднего состава и в карбонатных осадках (табл. 52; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Таблица 52 – Содержание стронция в магматических и осадочных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	2-20	Глины	300-450
Основные	140-460	Сланцы	300
Средние	300-600	Песчаники	20-140
Кислые	60-400	Известняки	450-600

В магматических процессах стронций преимущественно рассеивается и входит в виде изоморфной примеси в кристаллическую решетку минералов кальция, магния и бария. Среднее содержание стронция в исследованных почвообразующих породах Краснодарского края составляет 15-540 мг/кг с колебаниями от 72 до 1380 мг/кг (табл. 53; Тонконоженко Е.В., Хлюпина М.И., 1973).

Таблица 53 – Содержание стронция в почвообразующих породах Краснодарского края, мг/кг

Почвообразующая порода	Содержание
Лессовидные тяжелые суглинки	167-279
Лессовидные глины	129-209
Аллювий глинистый	150-410
Аллювий суглинистый	316-414
Делювий глинистый	118-233
Элювий глинистых сланцев	111-154
Мергели, мел, известняки	143-544

Стронций равномерно распределен в лёссовидных породах, хотя общее его содержание невысокое. Наиболее неравномерно, несмотря на значительное среднее содержание, этот элемент распределяется в аллювиальных отложениях, известняках и мергелях. В аллювии это, прежде всего, связано с неоднородностью механического состава породы. При прочих равных условиях стронция больше в тяжелых породах.

А.И. Перельман (1972) выделяет следующие общие черты геохимии стронция:

- дифференциация и накопление в ходе геологической эволюции: мантия (ультраосновные породы) → магма (изверженные породы земной коры) → биосфера (осадочные породы);
- накопление в осадках в результате испарительной концентрации вместе с гипсом;
- накопление в водах, бедных сульфатами, – хлоридных рассолах глубин, хлоридных озерах;
- энергичная миграция в гумидных ландшафтах и сток в океан, причем, по интенсивности стока стронций опережает кальций;
- меньшая биофильность и большая талассофильность по сравнению с кальцием.

При выветривании пород, содержащих стронций, он выносится в виде бикарбонатов, хлоридов и сульфатов, а также может мигрировать в виде этих соединений. Сульфаты и карбонаты стронция менее растворимы, чем соответствующие соли кальция, а растворимость бикарбонатов стронция выше, чем бикарбоната кальция, так что в районах с большим увлажнением стронций должен выноситься из коры выветривания интенсивнее, чем кальций. Отношение Sr : Ca в биосфере может быть указателем процессов, происходящих при совместной миграции стронция и кальция. Стронций может осаждаться в виде карбонатов при потере CO₂ из растворов, содержащих бикарбонат, и в виде сульфатов при действии SO₄²⁻-иона на растворы, содержащие стронций. Однако основная масса стронция уносится в океан. В ходе миграции в почвах и коре выветривания стронций может затем захватываться глинными минералами и прочно связываться органическим веществом, однако, большая его часть осаждается в виде биогенных карбонатов, в основном в форме раковин беспозвоночных. Стронций существует преимущественно в виде иона Sr²⁺, однако хелатные формы также играют важную роль в круговороте этого элемента, который тесно связан с круговоротом кальция. Отношение Sr : Ca, по-видимому, довольно постоянно в биосфере, вследствие чего оно обычно используется для идентификации повышенных концентраций стронция в среде.

Содержание стронция в почвах в большой степени контролируется составом материнских пород и климатом. Его количество в поверхностных горизонтах изменяется от 18 до 3500 мг/кг. Допустимая предельная концентрация стронция в почве колеблется в пределах 600-1000 мг/кг.

В результате биогеохимических исследований на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья выявлены районы с повышенным содержанием стронция в почвах. Это торфяно-болотные почвы Хибинской тундры, образовавшиеся в продуктах выветривания щелочных пород; черноземы Башкирского Зауралья; светло-каштановые почвы Казахстана; сероземы Средней Азии; горные подзолистые почвы Приамурья. Много стронция содержится в некоторых районах Амурской и Читинской областей, где распространены развитые подзолистые, луговые и лугово-болотные почвы. Повышенное содержание стронция характерно для пойменных почв.

Мало стронция обнаружено в подзолистых, дерново-подзолистых и торфяно-болотных почвах Костромской, Воронежской, Пермской областей и южного Приморья. Небольшое количество этого элемента содержат почвы лесостепной и степной черноземной зоны, а также почвы сухостепной, полупустынной и пустынной зон. Бедны стронцием песчаные почвы Закаспийских пустынь. Относительно низки его содержания в черноземах Горного Алтая. Средний уровень содержания валового стронция в этих почвах не превышает 120 мг/кг (Ковальский В.В., Андриановна Г.А., 1970).

Содержание стронция в почвах Краснодарского края в среднем в 2-3 раза меньше среднего для почв Российской Федерации и стран ближнего зарубежья, особенно в горных некарбонатных почвах влажной зоны и легких аллювиально-луговых (табл. 54; Тонконоженко Е.В., Хлюпина М.И., 1973).

Эти же почвы характеризуются большой пестротой в распределении стронция. Низкое содержание этого элемента при довольно равномерном распределении характерно для горно-лесных серых и бурых почв: коэффициент варьирования 16,6-18,1 %. Накопление стронция в гумусово-аккумулятивном горизонте не выражено. В большинстве случаев, особенно в некарбонатных почвах, развивающихся во влажной зоне, стронция больше в нижней части профиля и почвообразующей породе, что свидетельствует об определенном его выщелачивании в процессе почвообразования. Только в малогумусных карбонатных и выщелоченных черноземах, занимающих основную часть равнинной зоны края, содержание стронция несколько выше в гумусово-аккумулятивном горизонте.

Таблица 54 – Содержание стронция в почвах Краснодарского края, мг/кг

Почва	Содержание
Черноземы малогумусные карбонатные	271-259
Черноземы малогумусные выщелоченные	167-187
Черноземы слитые	129-155
Черноземы слабогумусные	167-279
Черноземы среднегумусные выщелоченные	209
Лугово-черноземные	298-410
Аллювиально-луговые	316-414
Лугово-болотные	150-170
Серые лесные и лесостепные	118-233
Бурые горно-лесные	111-154
Перегнойно-карбонатные	278-544
Горно-луговые	143-208

Стронций в почвах присутствует в составе минералов, в форме растворимых солей – карбоната, бикарбоната, хлорида, сульфата, в почвенном поглощающем комплексе в виде обменных катионов. Находясь в почвенном растворе в виде растворимых солей и в почвенном поглощающем комплексе в виде обменных катионов, стронций легко усваивается растениями, а также вымывается из почв. Этим объясняется то обстоятельство, что стронций постоянно находится в почвах, водах, растениях и живых организмах.

Распределение стронция в почвенном профиле наследует главные тенденции циркуляции почвенного раствора. Впрочем, в зависимости от свойств почвы оно может быть и незакономерным. В кислых почвах этот элемент активно вымывается вниз по профилю почвы, в известковых может замещаться различными катионами, в особенности H^+ . Вытеснение стронция растворами, содержащими кальций, имеет практическое значение при восстановлении загрязненных почв.

Изотоп ^{90}Sr , образующийся в ходе ядерных реакций, считается одним из наиболее биологически опасных для человека. Даже ничтожно малые количества радиоактивного Sr, поступающие в окружающую среду с утками из ядерных реакторов и после испытаний атомного оружия, опасны, поскольку мигрируют вместе с кальцием. Стронций, попадая через растения и животных в пищу человека, может накапливаться в костных тканях людей, как и кальций. По мнению некоторых ученых, в костях человека уже содержится такое количество стронция, которое может оказывать канцерогенное действие.

На поглощение и прочность закрепления ^{90}Sr в почвах оказывают влияние их минералогический и гранулометрический состав, pH, емкость поглощения, состав поглощенных оснований и содержание органического вещества. Наибольшей сорбционной способностью по отношению к этому изотопу обладают тяжелые по гранулометрическому составу почвы. Благодаря высокой сорбционной емкости верхних горизонтов почв, 70-90 % выпавшего на поверхность Земли ^{90}Sr первоначально закрепляется в верхнем (0-5 см) слое почв. Вертикальное передвижение этого радиоактивного изотопа в почвенном профиле является следствием различных процессов, среди которых важнейшими являются диффузия, конвективный массоперенос и передвижение по корневым системам растений. Распределение ^{90}Sr по профилю почвы связано с типом почвы и ее свойствами. Прежде всего, имеют значение водные свойства и поглощающая способность почв. В зависимости от прочности закрепления и механизма поглощения, ^{90}Sr в почвах может находиться в различных формах. Различают три формы стронция в почве: 1) водорастворимую, 2) обменную и 3) необменную. Количество необменного стронция-90 в пахотном слое колеблется от 20 до 30 %, а в целинной – от 6 до 40 % общего содержания нуклида (Повлоцкая Ф.И., Зацепина Л.Н., 1971).

6.8.34. Уран

Кларк урана в земной коре равен $2 \cdot 10^{-4}$ %, почве – $1 \cdot 10^{-4}$ %, морской воде – $2 \cdot 10^{-7}$ %, растениях – $1,5 \cdot 10^{-5}$ %, животных – $1 \cdot 10^{-8}$ %; талассофильность – $2 \cdot 10^{-3}$; технофильность – $1,2 \cdot 10^6$.

Уран – компонент всех без исключения магматических и осадочных горных пород (табл. 55; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Кислые породы, как правило, содержат больше урана, чем основные и ультраосновные. В осадочных породах этого элемента больше в глинистых отложениях, чем в песчаниках и известняках. Основное значение в геохимии урана играет физико-химическая миграция, он активный мигрант и в гидротермах, и в зоне гипергенеза. В магматических системах U^{4+} – аналог четырехвалентного тория, циркония, лантаноидов и других малоподвижных элементов. В гидротермах характерны связи урана с молибденом, титаном, частично с халькофилами – медью, свинцом.

Таблица 55 – Содержание урана в магматических и осадочных горных породах, мг/кг

Магматические породы	Содержание	Осадочные породы	Содержание
Ультраосновные	0,003–0,01	Глины	3–4
Основные	0,3–1,0	Сланцы	3,0–4,1
Средние	1,4–3,0	Песчаники	0,45–0,59
Кислые	2,5–6,0	Известняки	2,2–2,5

В биосфере миграция U^{6+} в форме UO_2^{2+} и его комплексов особенно разнообразна, она характерна и для кислых, и для щелочных условий. Спутники урана здесь – ванадий, селен, молибден, рений, фосфор, кальций, калий, медь, кремний, сера, лантаноиды, частично золото, мышьяк, фтор. В бескислородной среде при наличии органических веществ и H_2S происходит восстановление U^{6+} до U^{4+} , который аналогичен торию, цирконию и другим инертным элементам. В ходе геологической истории содержание в земной коре этого элемента уменьшилось за счет радиоактивного распада. С этим процессом связано накопление в земной коре части атомов свинца, гелия, образование радия. Радиоактивный распад урана играет важную роль в энергетике земной коры. Использование этого элемента в качестве атомного сырья определило его большое значение в ноосфере, быстрый рост добычи за последние полвека. Технофильность его близка к кобальту, фосфору, хрому, мышьяку, селену (Перельман А.И., 1989).

В процессе выветривания уран легко мобилизуется, образуя различные комплексные неорганические катионы и входя в органические соединения. Растворимость урана в широком интервале рН почв определяется образованием гидратированного катиона UO_2^{2+} , а также наличием в почвенном растворе органических кислот. Подвижность этого элемента в почвах может быть ограничена в результате адсорбции на глинах и органическом веществе, а также образования оксидов, фосфатов и других плохо растворимых осадков. Сорбция является ключевым процессом в цикле урана, в результате которого часто отмечается значительное накопление этого элемента в органических отложениях.

Уран в почвах и почвообразующих породах содержится обычно в следующих формах: в виде изоморфной примеси в некоторых пороодообразующих минералах (циркон, монацит, полевые шпаты), сорбированный на кристаллографических и интерстиционных поверхностях, в составе уранорганических комплексов и труднорастворимых соединений.

Содержание урана в почвах колеблется в пределах $1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ %, в глинистых почвах Русской платформы содержание этого элемента составляет $4 \cdot 10^{-4}$ %. На накопление урана в различных типах почв влияют в основном их генетические особенности, топография по отношению к выходам пород, условия миграции, биогенные и техногенные факторы.

6.9. Баланс питательных веществ и гумуса почвы

Не изучая прихода и расхода питательных веществ в земледелии, не составляя баланса, невозможно контролировать их круговорот в хозяйстве и сознательно вмешаться в обмен между человеком и землей.

А.В. Петербургский, 1979

6.9.1. Баланс питательных веществ в почве

Баланс питательных веществ – количественное выражение содержания питательных веществ в почве на конкретной площади или объекте исследования с учетом всех статей их поступления и расхода на формирование урожая и непродуктивные потери из почв в течение определенного промежутка времени. Изучение баланса и круговорота элементов питания растений в земледелии является одной из главных задач агрохимии. Цель этого изучения – осуществление систематического контроля, и на этой основе – целенаправленное регулирование агрохимических свойств почв применением соответствующих видов, форм и норм удобрений. Баланс питательных веществ в земледелии определяется сопоставлением их прихода за счет различных источников поступления в почву и расхода.

Поступление элементов питания включает следующие приходные статьи баланса:

1. Поступление с минеральными и органическими удобрениями. Их количество определяют по нормам для культур, а затем вычисляют среднее значение на 1 га севооборотной площади. Для этого используют книгу истории полей, паспорт поля, отчеты по внесению удобрений. Для учета количества элементов питания, поступивших в почву с органическими удобрениями, используют имеющиеся в хозяйстве данные по нормам, содержанию макро-, мезо- и микроэлементов в органических удобрениях или данные научно-исследовательских учреждений.

2. Поступление с посевным или посадочным материалом. Его вычисляют на основании норм высева семян и содержания в них элементов питания;

3. Поступление с атмосферными осадками. С атмосферными осадками в почву могут попасть практически все элементы питания, причем больше всего поступает азот. Таким способом поступает азот преимущественно в аммиачной форме и в меньшей мере в нитратной, которая образуется вследствие грозных разрядов. В среднем ежегодно с осадками в почву поступает 5 кг/га азота. Эту величину берут при балансовых расчетах.

4. Поступление азота за счет фиксации клубеньковыми бактериями бобовых культур. Для определения этой статьи баланса используют данные о величинах фиксированного из атмосферы азота, остающегося в почве после бобовых культур.

Биологический азот можно рассчитать по формуле Е.П. Трепачева:

$$N_{об} = (M_{пк} \cdot 2,5 \% \cdot N) + (M_{пу} \cdot \% \cdot N) \cdot K_{ф} - N_y \cdot (1 - K_{ф}),$$

или $N_{оп} = N_6 - N_b,$

где: $N_{об}$ – обогащение почвы биологическим азотом, кг/га;
 N_6 – биологический азот растительных остатков, кг/га;
2,5 – коэффициент поправки на полноту учета органического вещества;
 $M_{пк}$ – масса сухих пожнивно-корневых остатков, ц/га;
 $M_{пу}$ – масса потерь урожая за все укосы, ц/га;
 $K_{ф}$ – коэффициент азотфиксации (отношение количества фиксированного азота к общему);
 N_y – общий азот в урожае сена за все годы выращивания бобовых культур, кг/га;
 N_b – вынос азота с урожаем бобовых растений, кг/га.

Биологический азот растительных остатков (N_6) определяется по формуле:

$$N_6 = [(M_{пк} \cdot 2,5) \% N + (M_{пу} \cdot \% N) \cdot K_{ф}],$$

а вынос азота из почвы бобовыми растениями –

$$N_b = N_y \cdot (1 - K_{ф}).$$

Коэффициент азотфиксации ($K_{ф}$) принят для клевера, люпина, эспарцета равным 0,7, люцерны – 0,8, гороха и вика – 0,6. Коэффициент азотфиксации пожнивных остатков зернобобовых культур 0,3–0,4, а остатков бобовых трав – 0,5–0,7. Если количество пожнивных и корневых остатков не определялось, то условно содержание азота в них принимают равным половине содержания его в надземной массе.

5. Поступление несимбиотического азота за счет фиксации свободноживущими почвенными микроорганизмами. Его среднегодовая величина в различных почвенно-климатических условиях неодинакова: в зоне северной тайги и тундры – 2,5–5,0 кг/га, дерново-подзолистых и серых лесных почв – 15–20 кг/га, черноземов – 30–40, тропиках и субтропиках – 70–80 кг/га. На рисовых почвах фиксация азота свободноживущими микроорганизмами составляет 5 кг/га.

При расчетах баланса азота в длительных стационарных опытах в качестве минимальных нормативов принимают следующие величины несимбиотической азотфиксации: для вариантов без удобрения и с нормами ≥ 100 кг/га – 4–6 кг/га, для вариантов со слабой степенью насыщения севооборота органическими и минеральными удобрениями – 6–10, при сильном насыщении севооборота органическими и минеральными удобрениями и известкованием кислых почв севооборота – 10–15, при повышенном насыщении севооборота органическим и минеральными (кроме азотных) удобрениями, известковании кислых почв и получении высоких урожаев всех культур севооборота – 15–20 кг/га (Минеев В.Г., 2004; Лебедева Л.А., Едемская Н.Л., 2005).

Расход элементов питания состоит из следующих статей баланса:

1. Вынос элементов питания с урожаем. Эта статья баланса рассчитывается на основании данных о потреблении элементов питания на создание 1 т основной и соответствующего количества побочной продукции. Этот показатель крайне неустойчив и колеблется в зависимости от удобрения, почвенно-климатических условий, биологических и сортовых особенностей культуры. Для его определения рекомендуется пользоваться показателями выноса, имеющимися в хозяйстве или определенными научно-исследовательскими учреждениями.

2. Потери от вымывания (выщелачивания). Инфильтрация с атмосферными осадками на глинистых и суглинистых почвах составляет: азота – 10 кг/га, калия – 15, кальция – 50, магния – 15, серы – 15 кг/га; на легких почвах эти величины составляют – 20; 25; 100; 30; 25 кг/га соответственно.

3. Потери от эрозии почв. Ежегодные потери азота из пахотного слоя почвы от эрозии составляют 10–15 кг/га, фосфора – 5, калия – 100 кг/га.

4. Газообразные потери азота. Минимальные величины газообразных потерь азота удобрений из почвы: для культур сплошного сева – 10–15 %, для пропашных культур – 15–20 % от суммы всех статей поступлений азота в почву. Газообразные потери почвенного минерализованного азота составляют: под зерновыми на дерново-подзолистых суглинистых почвах – ≈ 54 кг/га, супесчаных – ≈ 40 , на серых лесных – ≈ 62 , черноземах – ≈ 89 кг/га. Под пропашными культурами эти потери еще больше. На дерново-подзолистых суглинистых почвах они равны ≈ 105 кг/га, супесчаных – ≈ 62 , черноземах – ≈ 123 кг/га. Газообразные потери азота из органических удобрений составляют 10–15 % (Лебедева Л.А., Едемская Н.Л., 2005). Они на пахотных и лугопастбищных угодьях колеблются в пределах от 10 до 50 % от внесенного с удобрениями. В атмосферу выделяются молекулярный азот, аммиак и оксиды азота. Это обусловлено происходящими в почве микробиологическими процессами аммонификации, нитрификации и денитрификации.

5. Вынос элементов питания сорняками. Расход азота, фосфора и калия сорняками ориентировочно принимаются за 10 % от выноса питательных веществ культурными растениями.

В настоящее время изучение баланса элементов питания проводится по двум взаимосвязанным и дополняющим друг друга направлениям. Первое – экспериментальное. Это направление разрабатывает теоретические вопросы баланса элементов питания. Второе – научно-производственное направление, задачей которого является изучение и обоснование оптимального уровня применения удобрений и возврата веществ с учетом плодородия почв, планируемого урожая и охраны окружающей среды.

Баланс элементов питания в земледелии в зависимости от решаемых задач подразделяют на три вида: внешнехозяйственный, хозяйственный и биологи-

ческий. Внешнехозяйственный баланс – это отчуждение элементов питания с продукцией растениеводства и животноводства и поступление их с удобрениями. Этот вид баланса рассчитывают для почвенно-климатических зон или для страны в целом и используют при изучении круговорота веществ с учетом специализации хозяйства. Хозяйственный баланс основывается на учете выноса элементов питания со всем урожаем основной и побочной продукции растений, а также газообразных потерь, потерь от вымывания и закрепления почвой. Этот вынос сопоставляется с возмещением за счет вносимых минеральных и органических удобрений, семян и поступлением с осадками. Хозяйственный баланс может быть валовым и эффективным. Валовый – включает поступление элементов питания в почву без учета коэффициента их усвоения растениями, а эффективный – с учетом коэффициента усвоения.

Более полную оценку круговорота элементов питания дает биологический баланс, при котором учитываются вынос элементов питания не только основной и побочной продукцией, но также пожнивными и корневыми остатками, потери в результате микробиологических процессов и вымывания.

Баланс элементов питания – это математическое выражение их круговорота в земледелии и биосфере. По азоту учитываются следующие статьи прихода и расхода:

$$B_N = (N_y + N_c + N_{об}) - (N_v + N_{пг} + N_{пв}),$$

где: N_y – азот удобрений;
 N_c – азот, внесенный с семенами;
 $N_{об}$ – размеры обогащения почвы биологическим азотом;
 N_v – вынос азота урожаем основной и побочной продукцией;
 $N_{пг}$ – газообразные потери азота;
 $N_{пв}$ – потери азота за счет вымывания из почвы.

Баланс фосфора определяется по разности между поступлением его в почву с удобрениями и семенами и отчуждением с полей с урожаем, а также потерями за счет эрозии:

$$B_p = (P_y + P_c) - (P_v + P_{пэ}),$$

где: B_p – баланс фосфора;
 P_y – поступление фосфора с удобрениями;
 P_c – поступление фосфора с семенами;
 P_v – вынос фосфора с урожаем;
 $P_{пэ}$ – потери фосфора за счет эрозии.

Баланс калия представляется как разность между поступлением его с удобрениями, химическими мелиорантами, семенами (K_c) и осадками (K_o) и выносом калия с урожаем (K_p), потерями за счет эрозии ($K_{пэ}$) и вымывания из почвы ($K_{пв}$):

$$B_k = (K_y + K_c + K_o) - (K_v + K_{пэ} + K_{пв}).$$

Расчет баланса мезо- и микроэлементов. В приходных статьях баланса учитывается поступление этих элементов с органическими и минеральными удобрениями, химическими мелиорантами, осадками, оросительной водой и семенами. В расходной части – вынос с урожаем, потери от фильтрации и эрозии.

Поступление фосфора и калия с удобрениями и семенами устанавливается по их содержанию и нормам высева. Величина поступления калия из атмосферы с осадками на территории Российской Федерации колеблется в преде-

лах 2–6 кг/га. Потери калия с инфильтрационными водами на суглинистых почвах находится в пределах 10–20 кг/га, а на песчаных и супесчаных – 40–60 кг/га (Лебедева Л.А., Едемская Н.Л., 2005).

При характеристике баланса элементов питания, помимо прямых показателей – убыль элементов питания и их поступление, используют понятия интенсивности и емкости баланса.

Интенсивность баланса – это отношение поступления элементов питания в почву (П) к выносу (В) их с урожаем, выраженное в процентах или коэффициентом. Определяется по формуле:

$$I_б = \frac{П \cdot 100}{В},$$

При дефицитном балансе его интенсивность меньше 1 (или 100 %), уравновешенном – равна 1 (или 100 %), положительном – больше 1 (или 100 %). Интенсивность баланса показывает, какая часть выноса элементов питания с урожаем пополняется за счет поступления их с удобрениями.

Емкость баланса – это сумма выноса и поступления элементов питания в почву независимо от того, включаются они в круговорот или используются повторно. Этот показатель характеризует мощность круговорота питательных веществ в земледелии.

С ростом производства минеральных удобрений и их применения под сельскохозяйственные культуры происходит изменение количества и соотношения питательных веществ в почве. Чтобы определить эффективность применения удобрений и направление изменений содержания элементов питания в почве в зависимости от урожайности культур, необходимо изучать баланс элементов питания в земледелии в динамике за длительный период. С помощью балансовых расчетов за несколько лет можно установить, как изменяются отдельные статьи прихода, определить их долевое участие. Для иллюстрации сказанного приводим баланс элементов питания в земледелии на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья, проведенный А.В. Петербургским (табл. 56).

Таблица 56 – Баланс элементов питания в земледелии на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья

Год	Азот		Фосфор		Калий	
	%	кг/га	%	кг/га	%	кг/га
1966	-50,	-22,3	-4,3	-0,7	-61,0	-23,0
1968	-31,2	-15,8	+7,2	+1,4	-56,6	-31,6
1969	-31,7	-13,7	-8,6	-1,4	-62,2	-30,3
1970	-33,6	-16,5	-13,9	-2,6	-64,2	-34,5
1971	-25,0	-12,4	-2,4	-0,4	-58,7	-31,8
1972	-15,4	-6,8	+9,4	+1,6	-52,6	-25,8
1973	-28,0	-15,7	-14,8	-3,2	-58,8	-36,8
1974	-10,5	-5,0	+10,9	+2,3	-51,1	-27,8
1975	+17,7	+6,7	+54,5	+8,2	-34,5	-15,6
1976	-25,9	-15,0	+20,0	+4,0	-36,6	-19,0
1977	-112,0	-7,3	+43,0	+7,7	-32,0	-16,3
1978	-17,0	-12,2	+30,0	+6,5	-35,0	-19,2
1979	-5,0	-2,7	+56,0	+10,0	-28,0	-13,6

Как свидетельствуют данные приведенной таблицы, баланс элементов питания в земледелии значительно улучшился и приблизился по азоту и калию к приемлемому, а по фосфору стал положительным. Однако эти данные могут значительно изменяться по зонам страны. Так, по данным А.И. Симакина и М.Х. Шириняна, в середине 70-х гг. баланс элементов питания на Кубани был дефицитным (табл. 57). Как видно из таблицы, напряженным был баланс калия (-72,1 кг/га) и азота (-37,1 кг/га). Благодаря внесению удобрений вынос азота и фосфора восполняется на 59 %, а калия – только на 27 %.

Таблица 57 – Баланс элементов питания в земледелии Краснодарского края за 1968–1977 гг.

Показатель	Баланс, кг/га		
	азота	фосфора	калия
Внесено в почву: с минеральными удобрениями	41,4	21,3	14,6
с органическими удобрениями	8,6	4,7	11,0
Накоплено бобовыми культурами	4,0	–	–
Общий приход	54,0	26,0	25,6
Вынесено с урожаями	91,1	44,2	97,7
Дефицит	-37,1	16,6	-72,1
Приход по отношению к расходу, %	59	59	27

Хозяйственная деятельность человека интенсивно нарушает природный баланс мезо– и микроэлементов. С применением безбалластных высококонцентрированных минеральных удобрений, ростом продуктивности сельскохозяйственных культур количество отчуждаемых с урожаем мезо– и микроэлементов растет, а вместе с этим увеличивается их дефицит в почве. Недостаток большинства из них в почве приводит к снижению урожая и ухудшению качества сельскохозяйственной продукции.

Изучение баланса микроэлементов на основе долгосрочных стационарных опытов с удобрениями показало, что внесение под культуры минеральных удобрений не обеспечивает их положительного баланса. Вынос молибдена, бора, меди, марганца, кобальта и цинка с урожаем превышает их поступление с удобрениями. Органические же удобрения в рекомендуемых нормах внесения лишь частично компенсируют расход микроэлементов.

36.9.2. Баланс гумуса в почве

Гумус – важнейший показатель плодородия почв. Содержание гумуса в необрабатываемых почвах находится в равновесном состоянии, а при их использовании баланс нарушается. Поэтому необходимо, создавать условия для бездефицитного баланса гумуса в почве.

Потери гумуса, вовлеченного в сельскохозяйственное производство, обусловлены:

- уменьшением количества растительных остатков, поступающих в почву, при смене естественного биоценоза агроценозом;
- усилением минерализации органического вещества в результате интенсивной обработки и повышения степени аэрации;
- разложением и биодegradацией гумуса под влиянием физиологически кислых удобрений и активизации микрофлоры за счет вносимых удобрений;
- усилением минерализации в результате проведения оросительных или осушительных мероприятий;

– развитием водной и ветровой эрозии почв.

Основными путями компенсации минерализованного гумуса в почве являются:

- использование органических удобрений, а также сочетание их с минеральными удобрениями;
- запашка зеленых удобрений и пожнивно-корневых остатков;
- включение в севооборот бобовых и бобово-злаковых травосмесей с преобладанием бобового компонента;
- использование измельченной соломы на удобрение с добавлением азотных удобрений;
- использование на удобрение различных отходов органического происхождения.

В почве одновременно происходят два противоположных процесса, связанных с трансформацией органического вещества, – минерализация и гумификация. Баланс гумуса представляет разницу между его расходом или минерализацией при возделывании сельскохозяйственных культур и новообразованием в почве за счет гумификации пожнивно-корневых остатков и вносимых органических удобрений.

При внесении в почву свежего органического вещества 70–80 % его массы минерализуется в течение двух лет. Остальные 20–30 % подвергаются гумификации. В свою очередь, гумус также минерализуется, теряя в среднем 1,5–2,0 % исходных запасов в год. Интенсивность минерализации гумуса зависит от его запасов в почве, типа, гранулометрического состава почвы и вносимых удобрений. Так, в суглинистых почвах за год минерализуется 1,5–1,6 % от общих запасов гумуса в пахотном слое, супесчаных – 1,7–1,8 % и песчаных – 1,9–2,0 %. Интенсивность минерализации гумуса под различными культурами также неодинакова. Под зерновыми культурами ежегодно минерализуется в среднем 1,0 т/га, под пропашными – 2,0, в чистом пару – 2,2–2,5 т/га.

Баланс гумуса в пахотных почвах зависит от баланса органически связанного азота. Если баланс азота характеризуется отрицательной величиной, то потребности растений в этом элементе покрываются за счет использования азота гумуса. Учитывая, что в составе гумуса содержится всего около 5 % азота, на каждый килограмм органического азота, отчуждаемый с урожаем культур (кроме бобовых), минерализуется 20 кг гумуса почвы. Размеры отчуждения азота и убыли гумуса в почве зависят от вида культурных растений, их урожая, а также от количества текущего прихода азота в почву. Размеры минерализации гумуса в почве определяют по формуле:

$$Г_m = (У_0 \cdot K_N + У_0 \cdot K_P \cdot K_{NP}) \cdot 0,6 \cdot 20,$$

- где: $Г_m$ – количество минерализованного гумуса, ц/га;
 $У_0$ – урожай основной продукции, ц/га;
 K_N – вынос азота 1 ц основной и соответствующим количеством побочной продукции, кг;
 K_P – коэффициент выхода растительных остатков по отношению к основной продукции;
 K_{NP} – вынос азота 1 ц растительных остатков, кг;
0,6 – коэффициент выноса азота почвы по отношению ко всему выносу его растениями;
20 – коэффициент перевода азота в гумус.

Все необходимые исходные данные для использования в вышеприведенной формуле имеются в агрохимических справочниках. Ежегодное восполне-

ние гумуса за счет корневых и пожнивных остатков: зерновых культур составляет 0,4–0,6 т/га, пропашных – 0,2–0,3, многолетних трав – 0,5–1,0 т/га.

Коэффициент гумификации представляет собой долю углерода органических остатков, включающегося в гумусовые вещества почвы при полном их разложении. Коэффициент гумификации корневых и пожнивных остатков для зерновых культур и многолетних трав приравнивается к коэффициенту гумификации подстилочного навоза, а для пропашных культур – в два раза меньше. Коэффициент гумификации навоза составляет 20–25 % при содержании сухого вещества 25–50 %. Чем больше накапливается гумуса, тем большая его часть представлена "активным гумусом", т. е. способным к интенсивной минерализации, и поэтому расходуется на питание растений. Ожидаемый запас гумуса в почве за полную ротацию севооборота определяют по формуле Н.Ф. Ганжары:

$$S_t = (S_0 + K_r \cdot A \cdot t) \cdot (1 - K_m),$$

где: S_t – запасы гумуса через t лет, т/га;
 S_0 – исходные запасы гумуса, т/га;
 K_r – коэффициент гумификации свежих органических веществ в долях единицы (за единицу принимается A);
 A – количество поступающих в почву свежих органических веществ, т/га;
 t – время, для которого рассчитывается запас гумуса, год;
 K_m – коэффициент минерализации гумуса в долях единицы.

Для поддержания бездефицитного баланса гумуса дерново-подзолистой суглинистой почвы полевого севооборота ежегодно требуется 10–12 т/га навоза, для супесчаных – 12–15 т/га. На серых лесных почвах, выщелоченных и типичных черноземах бездефицитный баланс гумуса достигается при внесении 6–10 т/га навоза в зависимости от состава культур севооборота. При орошении количество навоза, требуемое для поддержания бездефицитного баланса гумуса, возрастает в 2–3 раза.

6.10. Типы почв, их агрономическая характеристика и сельскохозяйственное использование

Тип почв – основная таксономическая единица классификации... Определяется: 1) однородностью поступления органических веществ и процессов их превращения и разложения; 2) однотипным комплексом процессов разложения минеральной массы и синтеза минеральных и органо-минеральных новообразований; 3) однотипным характером миграции и аккумуляции веществ; 4) однотипным строением почвенного профиля; 5) однотипной направленностью мероприятий по повышению и поддержанию плодородия почв.

Толковый словарь по почвоведению, 1975

Все многообразие почв в природе может быть разделено на типы, сходные по происхождению, важнейшим признакам и свойствам. Диаграмма соотношения площадей основных почвенных типов на суше показана на рисунке.87 (Рюбензам Э., Рауэ К., 1969).

Подзолистые почвы – тип почв, образовавшихся в результате развития подзолообразовательного процесса, сущностью которого является разрушение в верхней части профиля первичных и вторичных минералов и вынос продуктов разрушения в нижележащие горизонты и в грунтовые воды.

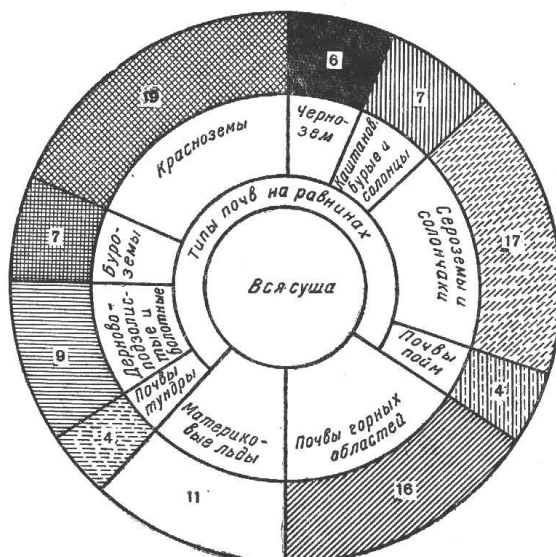


Рис. 87. Диаграмма соотношения площадей основных типов почв на суше

Для подзолистых почв характерно залегание под слоем лесной подстилки малопродуктивного белесого подзолистого горизонта с кислой реакцией, низким содержанием питательных веществ и неблагоприятными в агрономическом отношении физическими свойствами.

Подзолистые почвы содержат мало гумуса (от 1,0–1,5 до 2–4 %). В составе гумуса преобладают фульвокислоты. Гуминовые кислоты находятся в свободном состоянии или непрочны связаны с минеральной частью почвы. Эти почвы бедны азотом и фосфором, особенно легкодоступными растениям формами. Для подзолистых почв характерно повышенное содержание подвижного железа, алюминия и марганца, невысокая емкость обмена (от 20–40 до 120–170 ммоль-эк/кг), низкая насыщенность основаниями (менее 50 %), кислая реакция и малая буферность. Их плотность заметно увеличивается при переходе от верхних горизонтов к нижним. Иллювиальный горизонт отличается повышенной плотностью и наименьшей пористостью.

Подзолистые почвы разделяют на три подтипа: подзолистые, глееподзолистые, дерново-подзолистые. Последние являются наиболее плодородными в пределах данного типа.

Дерново-подзолистые почвы сформировались под воздействием подзолистого и дернового процессов. В верхней части профиля они имеют гумусоэлювиальный (дерновый) горизонт, образовавшийся в результате дернового процесса; ниже – подзолистый горизонт, сформированный под влиянием подзолистого процесса. Эти почвы характеризуются небольшой мощностью дернового горизонта, низким содержанием гумуса и питательных веществ, кислой реакцией и наличием малопродуктивного подзолистого горизонта. Степень насыщенности основаниями у дерново-подзолистых почв выше, чем у подзолистых. Обменные основания представлены главным образом кальцием и меньше – магнием. Эти почвы бедны валовыми запасами и подвижными формами азота и фосфора. Азот содержится преимущественно в органическом веществе, при минерализации которого образуются нитратные и аммонийные

формы, доступные растениям. Валовое содержание азота колеблется от сотых долей до 0,2 %. Фосфор содержится преимущественно в минеральных соединениях. Валовое содержание его колеблется от 0,05–0,07 до 0,1–0,16 %. Значительная часть фосфатов прочно связана с несиликатными аморфными полуроксидами и глинными минералами, вследствие чего их доступность растениям ограничена. Подвижных форм фосфора (по Кирсанову) содержится 0–50, реже 50–100 мг/кг почвы. Валовое содержание калия в пахотном горизонте колеблется от 1,0 до 2,5 % K_2O , а обменного калия (по Пейве) 70–150 мг/кг.

Подзолистая и дерново-подзолистая почвы пригодны для выращивания зерновых, зернобобовых, прядильных, овощных и плодово-ягодных культур, однолетних и многолетних трав, клубне- и корнеплодов. Для окультуривания этих почв, повышения их плодородия и получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур необходимо вносить органические удобрения и проводить известкование. Подзолистые и дерново-подзолистые почвы бедны доступными формами питательных элементов.

Торфяно-болотные почвы – типы почвы, сформировавшиеся в условиях длительного или постоянного избыточного увлажнения под влаголюбивой растительностью. Образуются в основном в результате заболачивания суши. Характерная особенность почвообразовательного процесса – накопление полуразложившихся растительных остатков – торфа. Нижняя граница почвенного профиля приблизительно совпадает с глубиной, до которой летом опускаются почвенные воды (от 30 до 50–80 см, иногда глубже). Болотные почвы верхового типа формируются в условиях переувлажнения неминерализованными водами атмосферных осадков. Они обычно сильноокислые ($pH_{водн}$ 3,5–4), с низкой зольностью (менее 6 %), высоковлажоемки, не насыщены основаниями. Подтипы: торфяно-глеевые (в профиле оглеенный минерализованный горизонт) и торфяные. Болотные почвы низинного типа образуются при переувлажнении поверхностными и грунтовыми минерализованными водами. Почвы со слабокислой ($pH_{водн}$ 5,5–6) или нейтральной реакцией, содержат свыше 6 % зольных элементов, менее влагоемки, чем верхового типа. Подтипы: обедненные торфяно-глеевые (под торфяным горизонтом мощностью 20–50 см залегает суглинистый горизонт, подстилаемый глеевым), обедненные торфяные (профиль состоит из торфа), типичные торфяно-глеевые (под верхним торфяно-перегнойным горизонтом мощностью 30–50 см залегает гумусовый оглеенный и глеевый горизонты) и типичные торфяные (профиль состоит из торфа).

В целинном состоянии их используют под сенокосные угодья. После осушения и проведения культуртехнических работ превращаются в ценные сельскохозяйственные угодья, которые при рациональном использовании дают высокие урожаи одно- и многолетних трав, кормовых корнеплодов, овощных и технических культур.

Бурые лесные почвы – тип почвы, сформировавшейся под широколиственными, смешанными, реже хвойными лесами на различных по гранулометрическому составу почвообразующих породах в условиях умеренного теплого влажного климата при промывном водном режиме. Характеризуется бурой окраской, комковатой или ореховатой структурой, слабым передвижением продуктов почвообразования по профилю, быстрым разложением первичных минералов, значительной гумусностью (5–10 % в верхнем горизонте), обычно слабокислой реакцией, почвенный профиль мощностью до 100 см нечетко дифференцирован на горизонты. Основные подтипы: типичные, глеевые и оподзоленные. Используются под посевы зерновых и овощных культур, сои, виноградники.

Серые лесные почвы – тип почвы, сформировавшаяся под лиственными и хвойно-лиственными лесами в основном на лессовидных покровных суглинках, карбонатных моренах в условиях континентального климата при периодически промывном водном режиме. Характеризуются высоким содержанием обменных катионов, значительной аккумуляцией органических веществ и элементов минерального питания в верхних горизонтах, ореховатой структурой, кислой или слабокислой реакцией, благоприятным тепловым и водным режимами, высокой биологической активностью. Плодородный почвенный профиль, достигающий 150–200 см, сравнительно хорошо выражен. Подразделяется на подтипы: светло-серые (1,5–2,0 % гумуса), серые (3,5–6,0 %), темно-серые (6,0–8,0 %). На них выращивают зерновые, кормовые, технические, овощные, и плодовые культуры, организуют культурные сенокосы и пастбища.

Черноземы – тип почв, образующихся под степной и лесостепной травянистой растительностью суббореального пояса. Черноземы образуются в основном на карбонатных материнских породах (лессах, лессовидных глинах и суглинках), иногда на более древних известняках, песчаниках, мергелистых глинах в условиях непромывного или периодически промывного водного режима. Ведущим процессом почвообразования при формировании черноземов является гумусово-аккумулятивный процесс, обуславливающий развитие мощного гумусово-аккумулятивного горизонта, накопление элементов питания для растений и оструктурирование профиля. Биологический круговорот веществ при черноземообразовании характеризуется ежегодным поступлением в почву больших количеств азота и зольных элементов с опадом.

Профиль черноземов четко дифференцирован на генетические горизонты: А – гумусовый или гумусово-аккумулятивный, темно-окрашенный, мощный, богатый гумусом, зернистой или зернисто-комковатой структуры; В₁ – гумусовый переходный, темно-серый с коричневым оттенком, который книзу усиливается; В₂ – горизонт гумусовых затеков, имеющийся во всех черноземах, после которого залегают горизонт максимального скопления карбонатов Вк – карбонатный или карбонатно-иллювиальный, постепенно переходящий в материнскую породу С, в которой на определенной глубине могут обособляться гипсовый горизонт и горизонт с легкорастворимыми солями.

Черноземы характеризуются: биогенным накоплением органических веществ в гумусово-аккумулятивном горизонте, высоким содержанием в нем гумуса (до 15 %) фульватно-гуматного состава; хорошо выраженной комковатой, зернистой или комковато-зернистой структурой; насыщенностью поглощающего комплекса основаниями, высокой емкостью обмена, нитрификационной способностью, пористостью, порозностью, водопроницаемостью и влагоемкостью; реакцией, близкой к нейтральной, высокой буферностью; значительным природным потенциальным плодородием; относительной однородностью валового состава минеральной части по профилю; иллювиальным характером распределения карбонатов, выщелоченностью от легкорастворимых солей. Они имеют благоприятные физические, водно-воздушные и физико-химические свойства, что обусловлено наличием глубокого структурного гумусового слоя. Плотность твердой фазы черноземов в верхних горизонтах невысокая – 2,4–2,5 г/см³.

По гранулометрическому составу черноземы самые разнообразные, но преобладают суглинистые и глинистые разновидности. По толщине гумусового слоя черноземы делятся на сверхмощные (более 120 см), мощные (120–80 см), среднемощные (80–40 см), маломощные (40–25 см) и очень маломощ-

ные (менее 25 см); по содержанию гумуса – на высокогумусные, или тучные (более 9 %), среднегумусные (9–6 %), малогумусные (6–4 %) и слабогумусные (менее 4 %). По генезису черноземы разделяют на следующие подтипы: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные.

Благодаря высокому потенциальному плодородию, черноземы представляют особую ценность в земледельческом фонде Российской Федерации. Уникальные по плодородию черноземные почвы широко представлены на территории Северного Кавказа. Здесь распространены практически все подтипы черноземов: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные и горные.

Каштановые почвы – тип почв, формирующихся в плакорных условиях сухих степей под несомкнутой мелкодерновинно-злаковой и полынно-злаковой растительностью, при неустойчивом и недостаточном увлажнении. В отличие от черноземов, почвообразование протекает при меньшем развитии биомассы и накоплении гумуса, меньшей глубине промачивания почвы влагой и вымывания солевых продуктов. Профиль почвы состоит из гумусового горизонта серовато-каштанового цвета, мелкокомковатой структуры и переходного иллювиально-карбонатного горизонта, наиболее уплотненного, комковато-ореховатой или комковато-призмической структуры, с включениями в виде белоглазки, псевдомицелия или мучнистых скоплений. В нижней части профиля нередко скапливаются легкорастворимые соли и гипс. Содержание гумуса в каштановых почвах варьирует от 1,0 до 4,5 % в зависимости от их гранулометрического состава и условий увлажнения. Реакция среды слабощелочная, в верхнем горизонте чаще близка к нейтральной. Каштановые почвы разделяются на 3 подтипа: темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые.

В зоне распространения каштановых почв в основном находятся сенокосы и пастбища. На этих почвах возделывают твердую пшеницу, кукурузу, просо, подсолнечник и бахчевые культуры.

Солончаки – тип почв, образующиеся при близком залегании грунтовых минерализованных вод или на засоленных почвообразующих породах, а также при неправильном орошении. Подразделяются на автоморфные – приурочены к выходам на поверхность древних засоленных пород, содержат 0,5–1 % легкорастворимых солей (сульфаты, хлориды) в верхнем горизонте, и гидроморфные – развиваются в условиях близкого залегания минерализованных почвенно-грунтовых вод, соли которых вследствие испарения поднимаются по капиллярам и аккумулируются в почвенном профиле, содержат в верхних горизонтах 6–8 % и более солей. Различают солончаки первичного и вторичного (образуются при неправильном орошении) засоления. Солончаки характеризуются выцветами солей на поверхности, слабо дифференцированным профилем и слабо выраженным гумусовым горизонтом (содержит 0,5–10 % гумуса) с прожилками или пятнами солей, щелочной реакцией. При освоении их рассоляют промывками и одновременно понижают уровень грунтовых вод (рассоляющий дренаж). После окультуривания на солончаках выращивают зерновые и овощные культуры, хлопчатник, травы (при орошении), используют их как пастбища для овец и верблюдов.

Солонцы – тип почв, сформировавшиеся в лесостепной, степной, полупустынной зонах в условиях непромывного водного режима, преимущественно в комплексе с другими почвами. Образуются при накоплении в почвенном поглощающем комплексе натрия (от 10–15 до 70 % емкости обмена), поступающего из почвенного раствора или грунтовых вод (процесс осолонцева-

ния). Солонцеватость может обуславливаться и поглощенным магнием, если его содержание в почвенном поглощающем комплексе превышает 30 % от емкости обмена. Характеризуются щелочной реакцией; высоким содержанием соды (NaHCO_3) особенно в содовых солонцах, вязкостью, липкостью и набуханием во влажном состоянии, сильным уплотнением и твердостью – в сухом, столбчатой, призматической или глыбистой структурой иллювиального горизонта, высокой подвижностью коллоидов. Солонцы обладают малой водопроницаемостью, содержат 0,5–8 % гумуса в верхней части гумусового горизонта. По характеру водного режима подразделяются на: солонцы автоморфные (черноземные, каштановые и полупустынные), солонцы полугидроморфные (лугово-черноземные, лугово-каштановые, лугово-полупустынные, мерзлотные) и солонцы гидроморфные (черноземно-луговые, каштаново-луговые, лугово-болотные и луговые мерзлотные). При освоении солонцов проводят промывку, гипсование, глубокую зяблевую вспашку, вносят органические и минеральные удобрения, применяют травосеяние. После окультуривания на солонцах выращивают зерновые культуры, сахарную свеклу, кормовые травы.

Солоди – тип почв, сформировавшихся под древесной растительностью в степи и лесостепи в условиях промывного или периодически промывного типа водного режима. Образуются при рассолонцевании солонцов (обменный натрий в верхних горизонтах замещается на водород), часто в микропонижениях, а также при периодическом воздействии на почву слабоминерализованных растворов, содержащих натрий. Характеризуются развитием элювиального осолоделого горизонта на глубине 5–20 см, слабокислой реакцией гумусового горизонта (содержит 2–8 % гумуса), глубоким проникновением гумуса по профилю, часто оглеением. Профиль (мощность его 120 см и более) четко выражен. Подтипы: лугово-степные, луговые и лугово-болотные.

Солоди используются под сенокосы. После химической мелиорации такие почвы становятся пригодными для посева сельскохозяйственных культур.

Сероземы – тип почв, образующихся под субтропической, полупустынной растительностью. Они формируются на лессах, лессовидных суглинистых и древних аллювиальных отложениях на подгорных наклонных равнинах и холмистых предгорьях в условиях непромывного и выпотного водного режима. Почвообразовательный процесс характеризуется чередованием активных биологических процессов накопления и гумификации органической массы, выщелачивания солей с периодом почти полного прекращения биологической деятельности, минерализации органического вещества, аккумуляции легкорастворимых солей.

Сероземы отличаются слабо дифференцированным профилем на горизонты: А – гумусовый (до 15–18 см), содержит 1,0–3,5 % гумуса, светло-серый, с листоватой или чешуйчато-комковатой структурой, книзу комковатый; В – переходный, серовато-палевый, ноздреватый, с карбонатной плесенью; Вк – иллювиально-карбонатный, буровато-палевый, плотный, с карбонатной плесенью и белоглазкой; С – палевый, содержит белоглазку, на глубине 1,5–2,0 м выделяется гипсовый горизонт, содержащий легкорастворимые соли. Реакция слабощелочная. По гранулометрическому составу сероземы в основном легко- и среднесуглинистые. Гумус фульвокислотного состава. Эти почвы обладают хорошими водно-физическими свойствами, высокой биологической активностью, плодородием, особенно при орошении. Подразделяются на подтипы: светлые, типичные, темные, орошаемые, лугово-сероземные, луговые.

На сероземах выращивают зерновые, зернобобовые и овощные культуры. Они пригодны для возделывания клубне- и корнеплодов.

Желтоземы – тип почв, образующихся в условиях влажного субтропического климата под лесами с большим участием вечнозеленых растений. Распространены на расчлененных древних морских террасах и примыкающих к ним предгорьях и низкогорьях, формируясь в холмистых и низкогорных районах на продуктах выветривания плотных пород, в первую очередь сланцев, относящихся к группе кислых и средних пород, а в террасовых регионах – на рыхлых, преимущественно глинистых породах. В отличие от красноземов, желтоземы содержат больше кремнезема (55–65 %) и значительно меньше полутораоксидов (15–30 %) и имеют более выраженные признаки оподзоливания. Их профиль четко дифференцирован на генетические горизонты: A_0 – лесная подстилка мощностью 1 см; A_1 – гумусовый горизонт, мощностью 10–15 см; АВ – переходный гумусовый метаморфический горизонт мощностью 15–20 см; В – иллювиально-метаморфический горизонт мощностью 30–40 см; ВС – переходный к почвообразующей породе горизонт, мощностью 20–40 см; С – почвообразующая порода.

Желтоземы содержат 2–7 % гумуса, причем меньшие количества характерны для почв равнинно-холмистых районов, а большие – для низкогорий. С глубиной содержание гумуса в желтоземах резко снижается. Реакция кислая ($pH=5-6$) емкость катионного обмена от низкой (40–50 ммоль-эк/кг почвы) до средней (250–300 ммоль-эк/кг почвы). Поглощающий комплекс не насыщен основаниями, однако степень насыщенности существенно меняется (от 4–7 % до 60–70 %). В составе обменных катионов преобладает кальций (60–80 % емкости), имеются магний и водород. По гранулометрическому составу желтоземы преимущественно глинистые или суглинистые. Имеют небольшой запас элементов питания. Подвижные формы азота легко вымываются из верхних горизонтов, а большое количество полутораоксидов делает фосфаты почвы малодоступными для растений.

В типе желтоземов выделяют 4 подтипа: желтоземы, подзолисто-желтоземные, ненасыщенные оподзоленные желтоземно-глеевые, подзолисто-желтоземно-глеевые. Эти почвы наиболее подходят для культуры чая.

Красноземы – тип почв, образующихся под лесной растительностью во влажных субтропиках в условиях промывного водного режима, на основных и средних почвообразующих породах, богатых железом. Наиболее распространенными почвообразующими породами, на которых формируются красноземы, являются продукты выветривания изверженных горных пород (базальты, порфириновые туфы), осадочные третичные отложения (глинистые и песчано-глинистые сланцы), а также аллювиальные и делювиально-пролювиальные глинисто-песчаные и галечно-валунные отложения. Характерная черта образования красноземов – продолжающаяся аллитизация их минеральной части (отношение SiO_2 к Al_2O_3 в илистой фракции меньше 2).

В профиле красноземов выделяются горизонты: A_0 – дернина, или лесная подстилка, мощностью 3–4 см; A_1 – гумусовый горизонт, мощностью 20–25 см, красновато-серый, рыхлый, комковато-зернистый; В – переходный, мощностью 80 см; буровато-красный с черными или бледно-желтыми пятнами, плотный, комковатый; С – сильно выветрившаяся почвообразующая порода красного цвета, с большим количеством крупных черных железисто-марганцевых конкреций и светло-желтых пятен кремнезема, с ореховато-комковатой структурой.

По валовому химическому составу профиль почв слабо дифференцирован. Содержание СаО и MgO низкое, гумуса в горизонте A_1 – 5–6 %, иногда 10–

12 %. В его составе преобладают фульвокислоты. Реакция почв сильнокислая и колеблется в пределах 4,2–4,5. Красноземы отличаются благоприятными физическими свойствами: хорошо выраженной водопрочной структурой, высокой водопроницаемостью, большой влагоемкостью и пористостью. Красноземы подразделяются на два подтипа: типичные и оподзоленные.

Все красноземы недостаточно обеспечены азотом, калием, особенно фосфором, а также многими микроэлементами. Красноземы благоприятны для выращивания высококачественного винограда и субтропических культур.

Аллювиальные (пойменные) почвы – почвы, образующиеся в поймах и дельтах при периодическом затоплении паводковыми водами и при отложении аллювия. Характеризуются высокой биогенностью, слоистостью, интенсивностью почвообразовательного процесса, наличием погребенных гумусовых горизонтов. Очень разнообразны по водному и тепловому режимам, строению почвенного профиля и свойствам. Подразделяются на три группы. Дерновые (типы – аллювиальные дерновые кислые, аллювиальные дерновые насыщенные, аллювиальные дерново-опустынивающиеся карбонатные). Образуются под злаково-разнотравными лугами и светлыми лесами на прирусловых валах и гривах, в условиях кратковременного увлажнения паводковыми и дождевыми водами. Отличаются легким гранулометрическим составом, бедны органическим веществом (содержание гумуса в верхнем горизонте в основном 1–2 %, редко до 8 %) и основаниями. Луговые (типы – аллювиальные луговые кислые, аллювиальные луговые насыщенные, аллювиальные луговые карбонатные) – формируются под разнотравно-злаковой растительностью в центральной части поймы, в условиях поверхностного устойчивого увлажнения паводковыми и грунтовыми водами. Характеризуются значительным накоплением гумуса (до 12–14 % в верхнем горизонте), зернистой структурой, оглеением нижних горизонтов, гидрогенными новообразованиями (марганцево-железистыми и др.). Болотные (типы – аллювиальные лугово-болотные, аллювиальные болотные иловато-перегнойно-глеевые, аллювиальные болотные иловато-торфяные) – развиваются на притеррасной части поймы (травяные и ольшаниковые болота), на пониженных элементах рельефа, в условиях паводкового и устойчивого избыточного атмосферно-грунтового увлажнения, заторфованы, заилены, в поймах степной, полупустынной и пустынной зон засолены.

Используются как луговые угодья, после распашки – для выращивания овощных, кормовых и других культур, риса. Нуждаются в мелиорации (осушении, орошении, известковании).

6.11. Законы земледелия – научная основа сохранения плодородия почв и эффективного применения удобрений

Законы земледелия определяют взаимодействие факторов жизни растений на общебиологическом уровне. В земледелии действие этих законов проявляется в научно обоснованных системах земледелия через плодородие почвы.

А.М. Лыков, 1991

6.11.1. Плодородие почв

Плодородие – основное специфическое свойство почвы, качественно отличающее ее от материнской горной породы. В самой общей форме под плодородием понимают "способность почвенного покрова удовлетворять по-

требность растений в элементах питания, воде, воздухе, тепле, свете и физико-химических условиях" (Фрид А.С., 1985). В агрономическом смысле под плодородием понимают способность почвы служить растениям средой обитания, источником и, главное, посредником в обеспечении земными факторами жизни, обеспечивать возможность индустриального ведения производства, быть устойчивой против всех факторов разрушения (Лыков А.М., 1985).

Понятия "почва" и "плодородие" неразрывны. Плодородие почв тесно связано с их генетическими особенностями, а для пахотных земель – также с характером сельскохозяйственного использования. Исходным почвообразующим породам присущи зачаточные элементы плодородия. Примитивные, формирующиеся почвы обладают определенным "примитивным" плодородием. В процессе почвообразования развивается и их плодородие. Почвенное плодородие отличается высокой динамичностью и четко реагирует на изменение факторов и условий почвообразования. Особенно сильное влияние на уровень плодородия почв оказывает хозяйственная деятельность человека.

Количественную оценку плодородия почв проводят двумя путями: первый – оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почвы, второй – разработка моделей, описывающих количественную связь продуктивности растений с различными элементами плодородия почвы.

Все принципы и методы, используемые при региональных бонитировках почв, сводятся к двум основным направлениям: к первому относятся методы бонитировки на основе количественного учета показателей свойств почвы, коррелирующих с урожайностью, ко второму – группы методов, которые применяются для составления бонитировочных шкал на основе данных урожайности с привязкой этих данных к группам почв или почвенным разновидностям.

Второй путь установления связи урожая со свойствами почв основывается на использовании регрессивных моделей. Обычно используют две формы задания функции плодородия: полиномиальную в виде

$$y = a_0 + a_1x_1 + b_1x_1^2 + a_2x_2 + b_2x_2^2 + \dots + c_1x_1x_2$$

или мультипликативную в виде

$$y = a_0q_1(x_1) q_2(x_2) \dots q_n(x_n),$$

где: a, b, c – эмпирические коэффициенты;
 $x_1 - x_n$ – факторы плодородия почвы;
 $q_1 \dots q_n$ – функции, определяющие влияние отдельных факторов на урожай.

Мультипликативная форма задания функции, по мнению А.С.Образцова (2001), имеет определенные преимущества перед полиномиальной, поскольку частные функции [$q_1(x_1), q_2(x_2) \dots$] обладают известной общностью для различных почвенно-экологических условий, в то время как эмпирические коэффициенты полиномиальной функции жестко привязаны к конкретным условиям эксперимента.

6.11.1.1. История развития учения о плодородии почвы

От плодородия почвы зависит жизнь как растительного, так и животного мира на Земле. Это было подмечено еще в самые незапамятные времена. Древние люди обожествляли плодородие почвы, как Солнце, огонь и воду. Представления о нем глубоко проникли в религиозную идеологию. В Древнем Египте богиней плодородия почвы была Исида, Древнем Риме – Прозерпина, а у вавилонян – Инанна. О плодородии почв писали трактаты Аристо-

тель, Теофраст, Лукреций, Вергилий, Колумелла, Плиний Старший и другие естествоиспытатели античной Греции и Рима. Различия в уровне плодородия почв учитывались при исчислении земельных налогов и податей, при продаже и оценке земли. В Древнем Египте почвы делились на "пшеничные", подвергаемые искусственному затоплению; "водно-болотные", предназначенные для разведения гидрофильных растений и пшеницы; "степные", не затопляемые Нилом. Почвы виноградников и садов отмечались особо. В Китае еще в IV в. до н.э. выделяли "белые", "синие" и "желтые" почвы, обладающие "высоким", "средним" и "низким" уровнем плодородия. Поскольку понятие плодородия возникло значительно раньше становления почвоведения как самостоятельной науки, то представление о том, чем обусловлено это свойство почвы, постепенно подвергалось трансформации.

Философы, писатели и поэты античной Греции и Древнего Рима плодородие объясняли наличием в почве особого "жира" или "растительных масел", "солей", порождающих все "растительное и животное" на Земле, затем – наличием в почве воды, гумуса, элементов минерального питания, и лишь спустя много времени плодородие почвы стали связывать со всей совокупностью свойств почвы в понимании генетического почвоведения.

Родоначальники современной науки о почве В.В. Докучаев, П.А. Костычев и Н.М. Сибирцев, отмечая зависимость продуктивности растений от климатических, геоморфологических и почвенных условий, предлагали оценивать плодородие по свойствам почвы и уровню урожайности. Основатель учения о биосфере В.В. Вернадский поставил вопрос об исследовании плодородия как планетарного явления, в основе которого лежит процесс захвата веществ живой материей. Он, в частности, писал: "Есть ли предел количеству вещества, которое может быть захвачено живой материей и введено в состав составляющих их организмов на определенной площади земли?". Он считал, что только на этой основе может быть решена частная задача получения продуктов, необходимых человеку. Развитие учения о плодородии почв связано с именем выдающегося ученого – агропочвоведа В.Р. Вильямса. Он детально исследовал формирование и развитие плодородия почвы в ходе природного почвообразования, рассмотрел условия проявления плодородия в зависимости от ряда свойств почвы, а также сформулировал общие принципы повышения плодородия почв при их использовании в сельскохозяйственном производстве.

6.11.1.2. Требования растений к плодородию почвы

Формирование плодородия и его развитие тесно связаны с характером почвообразования и жизнедеятельностью организмов, поселившихся на материнской породе. Почва считается плодородной, если растения, произрастающие на ней, получают в необходимом количестве элементы питания и воду. Недостаток или избыток одного из слагаемых компонентов плодородия ограничивает возможности получения урожая и часто приводит к гибели растений.

В обыденной жизни под плодородной понимают почву, благоприятную для определенных культурных растений. В действительности неплодородных почв нет, так как плодородие является неотъемлемым свойством почвы. Однако их плодородие очень конкретно. Еще в I в. Плиний Старший отмечал: "Почва, которую украшают высокие и стройные деревья, далеко не самая лучшая, если не считать ее пригодность для самих деревьев". Как правильно подметил Плиний Старший, любая почва плодородна по отношению к тем растениям, которые на ней хорошо развиваются. Например, на такой, казалось бы, явно непло-

дородной с хозяйственной точки зрения почве, как солончаки, хорошо развиваются некоторые солянки, которые не могут расти в других условиях. Для зерновых культур оптимальны тяжелые структурные почвы, а картофель, бахчевые и черешня лучше растут на легких почвах. Сероземы весьма благоприятны для хлопчатника, но неплодородны для картофеля; дерново-подзолистые почвы плодородны для картофеля, но неблагоприятны для пшеницы. Чай и люпин растут только на кислых почвах, а люцерна предпочитает слабощелочные почвы. На богатых в отношении органического вещества и элементов минерального питания почвах не размещают плантации виноградников и табака из-за резкого ухудшения качества продукции, а сахарная свекла, конопля и овощные культуры очень требовательны к плодородию почв.

Таким образом, экологические особенности растительных организмов чрезвычайно разнообразны в отношении требований к почвенным условиям: к реакции почвенной среды, физическим и физико-химическим свойствам, гранулометрическому составу и даже к содержанию органического вещества и элементов минерального питания. Иначе говоря, одна и та же почва для одних растений может быть плодородной, для других малоплодородной.

6.11.1.3. Виды плодородия почв

К.Маркс в "Капитале" различал три вида плодородия почвы: естественное, обусловленное природой, и искусственное, созданное человеком, которые органически неотделимы, а также эффективное, или экономическое, как фактическое проявление единства естественного и искусственного плодородия почвы.

Естественное плодородие определяется сложным взаимодействием свойств и режимов почв, вследствие развития природного почвообразовательного процесса, не нарушенного человеком. В чистом виде оно присуще целинным почвам и оценивается продуктивностью естественной растительности. Эта продуктивность в виде годового прироста на единицу площади в разных ландшафтах мира колеблется от 10 до 300 ц/га сухой фитомассы.

Эффективное, или искусственное плодородие свойственно обрабатываемым почвам и в значительной мере определяется уровнем сельскохозяйственного производства: умением нейтрализовать вредные химические свойства данной почвы и создать оптимальный водный и воздушный режим, возможностью использовать минеральные, органические и бактериальные удобрения, степени механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства. Плодородие обрабатываемых почв оценивается получаемой на них фитомассой культурных растений. Общая фитомасса культурных растений на территории Европейской части Российской Федерации колеблется от 50 до 180 ц/га сухого вещества (Левин Ф.И., 1972).

Понятие экономического плодородия связано с разной оценкой участков почв в зависимости от места их расположения и удобства использования. Почвы, благоприятные для роста и развития растений по своим природным свойствам, богатые гумусом и питательными веществами, но расположенные далеко, экономически могут расцениваться ниже бедных почв, расположенных удобно. Точно так же почвы, особенно подходящие для возделывания какой-либо одной культуры с специфическими биологическими требованиями в районах возделывания этой культуры, могут оцениваться выше других почв, даже если последние обладают лучшими свойствами.

В настоящее время в научной и учебной литературе часто встречается описание различных видов плодородия почв. Анализ этих данных позволяет остановиться на следующих понятиях, относящихся к почвенному плодородию.

Естественное (природное) плодородие – то плодородие, которым обладает почва в природном состоянии без вмешательства человека. Оно формируется в процессе развития почв под влиянием природных факторов почвообразования, и поэтому, например, природное плодородие дерново-подзолистых почв сильно уступает природному плодородию черноземов.

Искусственное плодородие – плодородие, которым обладает почва в результате воздействия на нее целенаправленной человеческой деятельности. К таким приемам воздействия на почву прежде всего относятся: распашка, периодическая механическая обработка, мелиорация, применение удобрений. Искусственное плодородие зависит от уровня развития науки и техники, размера материальных затрат, от возможности мобилизации природного плодородия для получения урожая культур.

Потенциальное плодородие – суммарное плодородие почвы, определяемое ее свойствами, как приобретенными в процессе почвообразования, так и созданными или измененными человеком. Слово потенциальное означает возможный, существующий в потенции, скрытый, не проявляющийся. Следовательно, если говорить о потенциальном плодородии, то под этим термином следует понимать возможное плодородие почвы, которое может проявиться при определенных экологических и технологических условиях. Благодаря этому виду плодородия имеется много примеров, когда урожайность ряда культур на дерново-подзолистых почвах уже может превосходить урожайность, получаемую на черноземах.

Эффективное плодородие – часть потенциального плодородия, которая реализуется в виде урожая растений при данных климатических (погодных) и технико-экономических (агротехнологических) условиях. Оно зависит от степени мобилизации с помощью агротехнических приемов элементов потенциального плодородия и от эффективности дополнительно привнесенных факторов роста и развития растений. Эффективное плодородие – лабильный показатель. Оно может изменяться в зависимости от погодных условий, как в многолетнем цикле, так и в течение вегетационного периода растений.

Относительное плодородие – плодородие почвы в отношении к какой-то определенной группе или виду растений. Как было отмечено выше, плодородная для одних растений почва может быть бесплодной для других. Например, на кислых почвах нельзя надеяться на получение высоких урожаев пшеницы, в то время как биологические особенности овса и люпина позволяют высевать их на подобных участках; болотные почвы высокоплодородны к болотной растительности, но там практически не могут расти другие виды растений. Поэтому осуществляется агропроизводственная группировка почв, на основе которой и осуществляется структура посевных площадей и проектируются эколого-контурные севообороты. В этих севооборотах наиболее полно учитываются взаимосвязи и зависимости биологических особенностей и свойств почвы.

Экономическое плодородие – экономическая оценка почвы в связи с ее потенциальным плодородием и экономическими характеристиками земельного участка.

Оптимальный уровень плодородия той или иной почвы определяется таким сочетанием ее свойств и показателей, при котором могут быть наиболее полно использованы все жизненно важные для растений факторы и реализованы потенциальные возможности выращиваемых сельскохозяйственных культур.

6.11.1.4. Показатели плодородия почв

К основным показателям плодородия почв относят:

1) *агрохимические* – гумус, рН водной и солевой суспензии, показатели почвенного поглощающего комплекса: сумма обменных оснований, гидролитическая кислотность, емкость обмена, степень насыщенности почв основаниями (S, Нг, Т, V), валовое содержание и формы соединений макро-, мезо- и микроэлементов, необходимых для питания растений;

2) *агрофизические* – гранулометрический состав, структурное состояние, плотность сложения и общая пористость почвы, ее водные, воздушные, тепловые свойства и режимы;

3) *биологические* – общее число микроорганизмов и их отдельных групп, ферментативная активность, аммонифицирующая и нитрифицирующая способность, интенсивность разложения целлюлозы в почве, "дыхание" почвы;

4) *гидромелиоративные* – уровень залегания грунтовых вод и их минерализация;

5) *уровень урожайности* сельскохозяйственных культур.

6.11.1.5. Факторы, лимитирующие плодородие и приемы его повышения

Ликвидация или минимализация лимитирующих почвенное плодородие факторов достигается с помощью мелиоративных и агротехнологических приемов. В таблице 58 перечислены основные лимитирующие факторы плодородия почв и соответствующие приемы их мелиорации (Левин Ф.И., 1988).

Ряд почв обладает не одним каким-то лимитирующим фактором, а целым комплексом. Например, солонцы – солончаки имеют высокую щелочность, повышенное солесодержание и крайне неблагоприятные физические свойства. Отсюда необходимость комплексных мелиораций.

По обобщенным данным И.И.Карманова (1980), к оптимальным почвенным показателям, обеспечивающим получение максимальных урожаев зерновых культур, следует отнести следующие: достаточно крупная и прочная зернистая или комковатая структура почвы, суглинистый гранулометрический состав, небольшая плотность ($\approx 1,1 \text{ г/см}^3$), значительная пористость ($\approx 60 \%$), хорошая аэрация, способность почвы накапливать большие запасы доступной растениям влаги. Приводятся данные по близким к оптимальным для питания растений содержанию в почвах подвижных соединений азота, фосфора и калия, реакции почвенной среды (рН 6,0–7,5). В числе других необходимых оптимальных свойств почв отмечаются достаточное содержание жизненно важных для растений макро- и микроэлементов в почве, высокий уровень биологической активности. Значительное внимание уделено важнейшему показателю потенциального плодородия почв – содержанию в них гумуса. По данным этого автора, для возделывания зерновых культур близкое к оптимальному содержание гумуса в пахотном слое почв составляет не менее 2,5–3,0 % для легких дерново-подзолистых почв, 3,5–4,0 – для суглинистых дерново-подзолистых почв, 4–6 – для серых лесных суглинистых почв, 5–7 % для черноземов. При рассмотрении почвенных факторов, оказывающих отрицательное влияние на уровень плодородия почвы, отмечаются уплотненность, сцементированность почвенных горизонтов, наличие песчаных или тяжелоглинистых слоев на небольшой глубине, оглеенных и глеевых почвенных горизонтов, присутствие щебнисто-каменистого материала в верхней части профиля и токсичных для растений легкорастворимых солей.

Таблица 58 – Лимитирующие факторы плодородия и мелиоративные приемы их минимализации

Фактор	Мелиоративные приемы
Избыточная кислотность	Известкование
Избыточная щелочность	Гипсование, кислотование, внесение физиологически кислых удобрений
Избыток солей	Промывка на фоне дренажа сбросных и почвенно-грунтовых вод
Высокая глинистость	Пескование, оструктуривание, глубокое рыхление
Высокая плотность	Оструктуривание, рыхление, травосеяние
Недостаток тепла	Тепловые мелиорации: мульчирование поверхности, снегонакопление, лесополосы, пленочные укрытия
Недостаток воды	Орошение, агротехнологические приемы накопления воды в почве (например, чистый пар) и защиты от испарения (мульчирование)
Недостаток минерального питания	Минеральные и органические удобрения
Избыток воды – заболоченность	Дренаж осушительный
Недостаток аэрации	Дренаж, оструктуривание, щелевание
Пестрота микрорельефа	Планировка поверхности
Большой уклон поверхности	Террасирование, полосно-контурная обработка, чередование культур
Малый корнеобитаемый слой, ограниченный внутрипочвенными прослоями	Постепенное углубление с применением плантажа, глубокого рыхления, взрывных мелиораций
Резко дифференцированный на горизонты почвенный профиль	Постепенное углубление корнеобитаемого слоя, ликвидация дифференциации глубокой обработкой
Токсикоз химический	Химические и агротехнологические мелиорации
Токсикоз биологический	Агротехнологические и биологические мелиорации, севообороты, парование

На основании обобщения многолетних данных и результатов производственных полевых опытов В.Ф. Вальковым, Ю.А. Штомпелем и В.И. Тюльпановым (2002) были рассчитаны оптимальные параметры почвенно-экологических показателей, обеспечивающих реализацию потенциальных возможностей культурных растений (табл. 59; 60).

6.11.1.6. Агрохимия и плодородие почв

Плодородие, так же, как и почвообразование, тесно связано с процессами превращения, аккумуляции и передачи веществ, что является причиной количественных и качественных изменений факторов и условий почвообразования. Эти изменения могут протекать как в благоприятном, так и неблагоприятном

Таблица 59 – Оптимальные значения почвенно-экологических показателей для полевых культур

Показатели	Пшеница	Кукуруза	Сахарная свекла	Люцерна	Клевер	Картофель	Рис	Гречиха	Сорго
Мощность гумусового горизонта, см	60–150	60–150	40–150	20–100	20–80	20–80	20–40	10–20	50–150
Содержание гумуса, %	3–8	3–8	3–8	2–4	2–4	2–4	1,5–4	1–3	3–8
Запасы гумуса, т/га	250–600	250–600	250–600	200–350	200–350	150–400	100–300	50–100	250–600
pH	6,5–8,2	6,5–8,2	6,5–8,2	7–8,8	5,5–6,8	6–7	6,5	6,5–8	6,5–8,5
Плотность, г/см ³	1,35–1,40	1,35–1,50	1,30–1,35	1,35–1,50	1,35–1,50	1,30–1,35	1,40–1,50	1,35–1,40	1,35–1,40
Гранулометрический состав, частицы менее 0,01 мм	Тяжелосуглинистый 45–60	Суглинистый 40–60	Суглинистый 30–45	Тяжелосуглинистый 45–75	Тяжелосуглинистый 30–50	Легкосуглинистый и супесчаный < 25	Тяжелосуглинистый и глинистый 45–75	Суглинистый 30–45	Суглинистый 30–45
Солонцеватость, Na ⁺ , % от суммы обменных катионов	< 5	< 3	< 6	Менее 7	< 1	Менее 1	3–8	< 1	3–8
Засоленность, плотный остаток, %	< 0,5	< 0,3	0,3–0,7	0,3–0,7	< 0,2	< 0,2	0,3–0,8	< 0,2	0,3–0,8
Влажность устойчивого завядания (ВЗ), к/мг*	1,5 мг	1,7 мг	1,6 мг	1,3 мг	1,7 мг	1,8 мг	2,0 мг	1,7 мг	1,1 мг
Содержание CaCO ₃ , %	0–6	0–5	0–5	0–10	Не допускается	< 1,0	0–5	0–6	0–8
Сумма положительных температур более 10°C	2500–5500	3000–5000	2000–4000	2000–5000	800–5000	800–2300	4200–14000	900–3600	2000–12000

ВЗ=к/мг, где мг – содержание максимальной гигроскопической влаги в почве; к – коэффициент, зависящий от растения. Определяется в вегетационных сосудах.

Таблица 60 – Оптимальные значения почвенно-экологических показателей для многолетних насаждений

Показатели	Яблоня	Черешня	Слива	Виноград	Чай	Смородина	Сахарный тростник	Финиковая пальма
Мощность корнеобитаемой толщи, см	150–250	150–250	100–200	50–150	50–100	40–80	100–200	50–150
Мощность гумусового горизонта, см	40–150	40–150	40–100	20–40	20–30	20–40	50–80	Не имеет значения
Содержание гумуса, %	3–8	3–8	3–8	2,5–3,5	2–4	3–5	3–4	Не имеет значения
Запасы гумуса, т/га	250–600	250–600	250–400	250–300	100–150	50–100	50–200	Не имеет значения
pH	6,5–8,2	6,5–8,2	6,5–8,2	6,9–8,5	3–4	6,5–8,2	6,5–8,2	8,0–8,8
Плотность, г/см ³	1,35–1,45	< 1,35	1,40–1,50	1,35–1,40	1,35–1,40	1,35–1,40	1,35–1,45	1,35–1,45
Гранулометрический состав, частицы менее 0,01 мм	Тяжелосуглинистый 35–60	Супесчаный и легкосуглинистый < 25	Тяжелосуглинистый и глинистый 45–75	Среднесуглинистый 30–45	Суглинистый 30–50	Суглинистый 30–60	Суглинистый 30–60	Суглинистый 30–60
Солонцеватость, Na ⁺ , % от суммы обменных катионов	< 4	< 3	< 5	3–7	Солонцеватость невозможна	< 3	< 3	5–12
Засоленность, плотный остаток, %	0,20	0,15	0,50	0,40–0,60	Засоленность не возможна	0,20	0,20	0,5–1,5
Каменистость, % объема	< 5	< 5	< 5	5–10	< 5	5–10	Менее 5	5–40
Влажность устойчивого завядания (ВЗ), к/мг	1,4 мг	1,5 мг	1,6 мг	1,1 мг	1,8 мг	1,8 мг	1,6 мг	1,3 мг
Содержание СаСО ₃ , %	0,3–10,0	0,3–2,0	0,3–10,0	0,3–40,0	Недопустимо	0,3–10,0	0,3–10,0	1,0–50,0
Сумма положительных температур более 10°C	2000–4000	2200–4500	2000–4500	3600–6000	4000–7000	1200–3600	6000–14000	6000–14000

направлениях для развития плодородия почвы. Изменения свойств почвы в течение какого-то периода могут привести также и к трансформированию плодородия относительно исходного уровня. Следовательно, за вегетационный период, годичный, севооборотный цикл или за определенный период времени изменение плодородия может проявляться в виде неполного, простого и расширенного его воспроизводства. Формирование плодородия почвы ниже первоначального уровня означает неполное его воспроизводство. Возвращение почвенного плодородия к исходному уровню означает простое его воспроизводство. Создание почвенного плодородия выше исходного уровня представляет собой расширенное воспроизводство.

Одной из задач расширенного воспроизводства плодородия почв является оптимизация наиболее ценных в агрономическом отношении свойств почвы с помощью различных способов и приемов его регулирования. Т.Н. Кулаковская (1980) при оценке плодородия и степени окультуренности почв по агрохимическим свойствам предлагает использовать комплексный агрохимический балл, отражающий степень соответствия основных свойств почв требованиям возделываемых растений.

В.А.Ковда (1998) подчеркивает, что расширенное воспроизводство плодородия почв должно всегда быть важнейшим принципом земледелия. Практическое решение этой задачи, по его мнению, не может ограничиваться мобилизацией природных ресурсов почв, а должно основываться, прежде всего, на возврате и возмещении использованной части. Необходимо также растущее обеспечение агроэкосистем дополнительной энергией и улучшение условий для повышения продуктивности фотосинтеза. Типовая региональная система управления плодородием почв должна предусматривать, прежде всего, меры по устранению эрозии, засухи, уменьшению запасов в почвах гумуса и питательных веществ, а также широкое внедрение почвенных мелиораций, создание оптимальной биохимической, химической и физико-химической среды в почвах, комплексное использование всех известных путей повышения почвенного плодородия. Кроме того необходима разработка новых приемов и методов повышения плодородия почв и урожаев культурных растений.

Одним из важнейших показателей плодородия почвы является содержание в ней гумуса. При длительном возделывании сельскохозяйственных культур, как показали многолетние исследования А.М.Лыкова (1976), наблюдается преобладание процессов его разложения (минерализации) над новообразованием (восполнением) и происходит постепенное снижение гумусированности почвы. Основным способом регулирования сбалансированного круговорота углерода, источника образования гумуса, в агроценозах – применение органических удобрений. Большое значение в стабилизации гумусового состояния почвы имеет периодическое выращивание в севообороте многолетних трав, гораздо в большей степени, чем другие культуры, обогащающих почву растительными остатками. На кислых почвах с малой буферностью выявлена высокая положительная роль известкования в снижении минерализации и подвижности гумуса. Систематическое внесение в севообороте одних минеральных удобрений, как правило, не предотвращает потерь гумуса, а лишь снижает за счет поступления в почву большого количества корневых и пожнивных остатков и их включения в процесс гумусообразования.

Анализ многочисленных результатов агрохимических исследований, проведенных в нашей стране и за рубежом, показывает, что воспроизводство азотного фонда почв возможно исключительно путем систематического при-

нения органических удобрений. Внесение одних минеральных удобрений, как правило, позволяет лишь замедлить потери азота из почвы, обеспечивая лишь в отдельных случаях достижение уравновешенного баланса этого элемента в агроценозе.

Под воздействием фосфорных удобрений повышаются общие запасы минеральных соединений фосфора в почве и усиливается их подвижность. Последнее затрагивает также нижележащие горизонты почвы, что связано с перераспределением фосфатов в почвенном профиле, благодаря деятельности корневых систем, усилению подвижности обменных оснований, полуторных оксидов и гумусовых веществ, вследствие подкисления под влиянием физиологически кислых удобрений, главным образом азотных.

При длительном внесении калийных удобрений в почву, калий закрепляется в корнеобитаемом слое в обменной и необменной формах, сохраняя доступность растениям. Взаимодействие этих двух форм калия с его водорастворимой формой образует динамическую систему, предотвращающую его выщелачивание и обеспечивающую калийное питание растений.

Действие удобрений на плодородие в значительной степени зависит от буферности почв. Будучи высокоэффективным средством повышения устойчивости агроэкосистемы, удобрение при несбалансированном его применении может оказаться фактором, который ухудшает почвенное плодородие. Одна из основных причин так называемого "скрытого" негативного действия физиологически кислых азотных удобрений заключается в отрицательной реакции растений и микрофлоры почвы на повышение кислотности. Высокая концентрация водородных ионов в почвенном растворе угнетает жизнедеятельность большинства культурных растений и микроорганизмов, осуществляющих минерализацию азота и азотфиксацию. Избыточные нормы минеральных удобрений вызывают нарушение структуры почвенного микробиоценоза. В нем существенно возрастает численность сапрофитных грибов и актиномицетов, синтезирующих фитотоксические вещества. Подкисление приводит к нежелательному развитию и других почвенных процессов, снижающих устойчивость коллоидов, их поглотительную способность, а также увеличивает образование труднорастворимых фосфатов железа и алюминия. Одной из причин "скрытого" отрицательного действия повышенных норм минеральных удобрений на плодородие почвы может быть также накопление в ней балластных элементов, таких как хлор, фтор и тяжелых металлов, высокие концентрации которых обладают токсичным действием. Для снижения размеров поступления тяжелых металлов из почвы в растения рекомендуется внесение навоза и извести, которые снижают подвижность этих элементов. Поэтому регулирование кислотности почвы в оптимальных пределах является непременным условием устойчивого функционирования агроэкосистемы в условиях длительного применения минеральных удобрений на почвах с низкой буферной способностью.

6.11.1.7. Мероприятия по управлению плодородием почвы

При разработке мероприятий по повышению плодородия почв надо исходить из того, что факторы жизни растений равнозначимы, поэтому необходимо одновременное воздействие на комплекс этих факторов. Воспроизводство плодородия осуществляется двумя путями: вещественным и технологическим.

Вещественный путь включает применение удобрений, пестицидов, мелиорантов, т. е. связан со значительными материальными затратами. Второй путь

связан с изменением свойств почвы, например в результате совершенствования способов обработки почвы. Затраты невелики, но эффект кратковременный, поэтому устойчивое повышение плодородия почв обязательно связано с большими или меньшими затратами. По данным А.И.Горбылевой (2002), эти мероприятия должны отвечать следующим требованиям.

1. Они должны способствовать постепенному приближению показателей свойств почвы к их оптимальным параметрам. Ведущим и быстродействующим фактором в этом направлении являются удобрения и мелиоранты. Их сочетание с расчетом на положительный баланс питательных веществ должно сопровождаться включением таких приемов и способов их внесения, которые, улучшая свойства почвы, не загрязняли бы окружающую среду и не вызывали вторичную кислотность. Большое значение имеет выбор способов обработки почвы, которые не должны ухудшать водно-физические свойства в связи с ее структурным состоянием из-за переуплотнения, а должны обеспечивать наилучшие условия аэрации и водоснабжения растений.

2. Следующим обязательным условием повышения плодородия почвы является введение плодосменных севооборотов, которые являются главным средством борьбы с токсикозом почвы и с почвоутомлением. Монокультура в большинстве случаев приводит к снижению урожая и ухудшению свойств почвы, связанному, как правило, с дегумификацией. С ростом урожая и в результате повышения микробиологической активности в биологический круговорот корнями растений вовлекается все больше элементов из нижних горизонтов почвы. Для достижения расширенного воспроизводства плодородия эффективен посев промежуточных культур, получение двух урожаев на одном поле и культуры-уплотнители.

3. Свойства различных почв даже в пределах одной природной зоны различны. Поэтому в каждом конкретном случае, кроме основных приемов, применяют специальные агротехнические приемы, способствующие улучшению водно-физических свойств. Кроме гидротехнической мелиорации с двойным регулированием водного режима, следует осуществлять различные культуртехнические работы, повышать долю бобовых культур в отдельных севооборотах.

6.11.2. Законы земледелия

Изменение почвенного плодородия в процессе формирования урожая сельскохозяйственных культур происходит в строгом соответствии с законами земледелия. Исследования ученых – агрохимиков, почвоведов, биологов и физиологов позволили сформировать законы земледелия.

6.11.2.1. Закон равнозначимости и незаменимости факторов жизни растений

Закон равнозначимости и незаменимости факторов жизни растений: "Все факторы жизни растений абсолютно равнозначимы и незаменимы; ни один из факторов жизни не может быть заменен другим".

Согласно этому закону, для роста и развития растений должен быть обеспечен приток всех факторов жизни растений - как космических, так и земных (свет, тепло, воздух, вода, элементы минерального питания). Отсутствие любого из них приводит к гибели растений, причем один фактор не может быть заменен другим. Например, то, что растения в процессе своей жизнедеятельности потребляют большое количество воды и сравнительно мало элементов мине-

рального питания, ни в коей мере не означает преимущество воды как фактора. Растение может погибнуть даже из-за недостатка какого-либо микроэлемента – бора или меди; при этом недостаток бора невозможно восполнить медью или цинком, как заменить азот фосфором или калием и наоборот. В формулировке В.Р.Вильямса (1939), данный закон звучит следующим образом: "Растения для своей жизни требуют одновременного и совместного наличия или такого же притока всех без исключения условий или факторов своей жизни".

В.В.Ермоленков, А.А.Шелюто, В.Н.Прокопович и др. (1998) отмечают, что проявление данного закона носит как абсолютный, так и относительный характер. Абсолютное значение выражается в том, что растение может требовать как больших, так и ничтожно малых количеств факторов, однако отсутствие любого из них равносильно гибели растений. На практике получить максимально высокий урожай возможно только при бесперебойном снабжении растений всеми факторами жизни в оптимальном количестве. Однако в конкретных условиях производства этот закон приобретает относительное значение вследствие неодинаковых затрат на обеспечение растений различными факторами.

Закон равнозначимости и незаменимости факторов жизни растений подчеркивает материальность земледельческого производства, не позволяет надеяться на "чудодейственные" рецепты получения урожая без материальных затрат или затрат в "гомеопатических дозах" (Баздырев Г.И., 2004).

6.11.2.2. Закон минимума

Закон минимума впервые сформулирован Ю.Либихом в 1840 г.: "Продуктивность поля находится в прямой зависимости от необходимой составной части пищи растения, содержащейся в почве в самом минимальном количестве". Он считал, что рост урожая прямо пропорционален увеличению количества фактора, находящегося в минимуме:

$$Y = A \cdot X,$$

где: Y – урожай;
X – напряжение фактора;
A – коэффициент пропорциональности для данного фактора.

Выявление этой закономерности имело огромное практическое значение, так как применение минеральных удобрений впервые получило научную основу. Согласно этому закону, при оптимальных прочих условиях уровень урожая определяется тем фактором, который находится в минимуме. Ю. Либих иллюстрировал "закон минимума" различными примерами. Например, если мы имеем цепь, поддерживающую определенный груз, и будем постепенно увеличивать этот груз, то когда разорвется цепь? – Когда лопнет самое слабое звено. Значит, для того, чтобы цепь была более крепкой, надо в первую очередь найти и укрепить именно это самое слабое звено.

По мнению Д.Н. Прянишникова (1965), для иллюстрации этого закона больше всего подходит так называемая "бочка Добенека", – деревянная бочка, у которой отдельные звенья (планки) не одинаковой высоты - одна выше, другая ниже (рис. 88).

Такую бочку можно наполнить водой только до высоты самой низкой планки. Так и урожай можно поднять лишь до того уровня, на котором питательное вещество находится в минимуме. Пока вы не нашли этого минимального фактора, до тех пор вы урожай не поднимете.

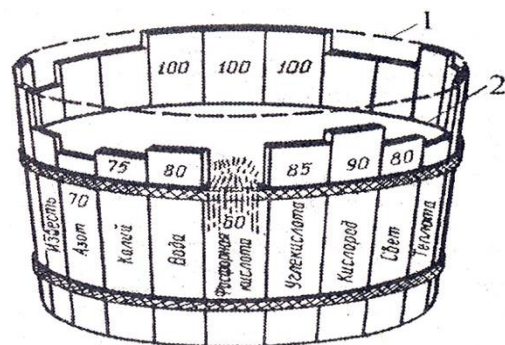


Рис. 88. Графическое изображение закона минимума:
1 – максимально возможный урожай; 2 – фактический урожай.

Несмотря на кажущуюся простоту и очевидность действия этого закона, он все же носит относительный характер. Это экспериментально подтвердили А. Майер, Э. Вольни, Р. Сакс, Г. Гельригель и В.Р. Вильямс. Так, А. Майер показал, что закон минимума необходимо принимать с учетом действия не только питательных веществ растений, но и всей совокупности факторов жизни. Э. Вольни распространил закон минимума и на качество урожая, установив зависимость действия отдельного фактора от всей совокупности других факторов. Г. Гельригель в условиях вегетационного опыта установил зависимость продуктивности растений от влагообеспеченности почвы. Как следует из полученных им данных, максимальный урожай соответствует оптимальной влажности почвы 60 % от полной ее влагоемкости. При отсутствии влаги, а также при ее чрезмерном избытии урожай равнялся нулю. Изменение урожая в зависимости от влажности почвы подтверждало снижающуюся эффективность последовательных одинаковых количеств какого-либо фактора жизни растений.

Р. Сакс (1857), опираясь на исследования А. Майера, Э. Вольни и Г. Гельригеля, сформировал закон минимума, оптимума и максимума: "Величина урожая определяется фактором, находящимся в минимуме. Наибольший урожай осуществим при оптимальном наличии данного фактора. При минимальном и максимальном наличии фактора урожай невозможен". Позже В.Р. Вильямс (1939) несколько конкретизировал этот закон: "Наибольший урожай осуществим при среднем "оптимальном" наличии фактора; при наименьшем (минимальном) и наибольшем (максимальном) наличии фактора урожай неосуществим (равен нулю)". Реакция растений на минимальные, оптимальные и максимальные температуры, недостаток и избыток воды в почве, повышение норм удобрений – результат действия этого закона.

Руководствуясь "законом минимума", в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации, в условиях разного уровня интенсификации производства и степени специализации, находят и устраняют факторы, ограничивающие рост урожайности. Так, интенсивное применение минеральных удобрений в ряде районов нашей страны обусловило повышенную отзывчивость полевых культур на микроудобрения. Одновременно по мере интенсификации земледелия большую актуальность приобретает регулирование водного режима и кислотно-щелочных свойств почвы; особую актуальность приобретает при этом обеспечение почвы органическим веще-

ством. Вместе с тем, в работах Ю.Н. Одума (1975) и А.С. Образцова (1990) отмечается, что "закон минимума" строго применим лишь в условиях стационарного состояния, когда приток вещества и энергии балансируется их оттоком. Если же баланс какого-нибудь вещества нарушается, то изменяется и скорость роста биомассы, отсутствуют стационарное состояние и "эффект минимума", результат зависит уже от всех компонентов. Это состояние, по мнению ученых, может продолжаться, пока не восстановится равновесие "приход-расход" и скорость роста вновь будет ограничиваться фактором, находящимся в минимуме.

6.11.2.3. Закон совокупного действия факторов жизни растений

Закон совокупного действия факторов жизни растений: "Все факторы жизни растений действуют не изолированно друг от друга, а в тесном взаимодействии".

Исследованиями Г. Люндегорда и Г. Либшера еще в конце XIX в. было установлено, что в соответствии с этим законом, "растения с тем большей продуктивностью используют находящийся в минимуме фактор, чем большее число других факторов находится в оптимуме". В работе В.Р. Вильямса (1939) приводится несколько иная формулировка данного закона: "Наибольшая эффективность всякого фактора осуществляется только при полной обеспеченности растения всеми другими факторами". Комментируя этот закон, Г. Люндегорд подчеркивал: "В природе наблюдается взаимодействие и интерференция многих факторов. Естественные проявления жизни всегда есть результат этих действий, но редко их можно принять, как простое суммирование".

Немецкий ученый Э.А. Митчерлих (1957) выразил закон совокупного действия факторов жизни растений в математической форме:

$$\frac{dy}{dx} = c(A - y),$$

где y – фактически полученный урожай;
 x – количество внесенного фактора роста, включая его содержание в почве;
 A – максимальный предельно возможный урожай;
 c – константа, характеризующая коэффициент действия переменного фактора x ;
 $A-y$ – разница между максимальным и фактически полученным урожаем.

В трактовке Э.А. Митчерлиха (1957) закон совокупного действия факторов гласит, что "прибавка урожая зависит от каждого фактора роста и его интенсивности, она пропорциональна разнице между возможным максимальным и действительно полученным урожаем". Он попытался математически выразить зависимость прибавки урожая от удобрения почвы. Экспериментально вывел следующие коэффициенты использования отдельных факторов жизни: N – 0,2; P₂O₅ – 0,6; K₂O₄ – 0,4; Mg₂O – 2,0 на 1 мм осадков.

Естественно, сложные биологические процессы формирования урожая невозможно в полной мере описать математической формулой, предложенной Э.А. Митчерлихом (1957). Несмотря на трудности математического выражения закона совокупного действия факторов, закон этот имеет огромное значение для практики земледелия.

Совокупное действие факторов жизни растений отличается от суммарного действия каждого в отдельности, так как изменение одного влечет за собой изменение других, и при оптимальном сочетании эффективность их действия

возрастает. Растения не просто приспосабливаются к факторам окружающей среды, но и сами активно влияют на них. "В такой сложной взаимосвязи и при комплексном действии, – пишет В.Д. Муха (2001), – неверно проявляется своеобразный "эффект компенсации" факторов: не замены одного фактора другим, а усиление общего положительного действия. Так, – продолжает он далее, – применение удобрений обуславливает повышение концентрации питательных веществ в почвенном растворе; в результате растениям для образования органического вещества требуется меньше воды". Свои взгляды автор подкрепляет результатами исследований П.П. Лукьяненко, проведенных с озимой пшеницей. Как следует из данных последнего, на неудобренном фоне общий расход воды сортом озимой пшеницы Безостой-1 для создания 100 кг зерна был равен 122,8, а на удобренном 60,4 т, урожайность зерна составила соответственно 3,07 и 5,38 т/га.

Безусловное соблюдение требований закона совокупного действия факторов жизни растений имеет важное значение как для получения максимально высоких, хороших по качеству и стабильных урожаев полевых культур, так и для воспроизводства почвенного плодородия.

6.11.2.4. Закон возврата веществ в почву

Закон возврата веществ в почву: "Все вещества, используемые растениями при создании урожая, должны полностью возвращаться в почву с удобрениями".

Этот закон, открытый Ю. Либихом (1840), – научная основа воспроизводства почвенного плодородия, частный случай проявления всеобщего закона сохранения веществ и энергии; нарушение данного закона, по утверждению автора, "рано или поздно должно приводить к утрате почвой плодородия". К.А. Тимирязев (1896) назвал этот закон "величайшим открытием науки".

Применение удобрений – важное средство сохранения и воспроизводства почвенного плодородия и увеличения продуктивности культурных растений. Поступающие в почву с удобрениями элементы питания помогают растениям эффективнее использовать почвенную влагу, солнечную энергию и другие экологические факторы, тем самым полнее реализовать свои потенциальные возможности. Результаты исследований круговорота и баланса питательных веществ в земледелии дают четкое представление об агрохимическом состоянии почв и необходимых количествах и составе удобрений. Это позволяет поддерживать в почве бездефицитный баланс питательных веществ.

Комментируя "закон возврата", А.М. Лыков, А.А. Коротков, Г.И. Баздырев и др. (1990) отмечают, что земледелие как отрасль производства материально по своей природе. Урожай как материальная субстанция создается из материальных составных частей, определенная часть его – за счет веществ и энергии, получаемых растениями из почвы. Кроме того, почва – своеобразный посредник растений в обеспечении факторами жизни, среда их произрастания. При компенсации выноса веществ и энергии из почвы последняя сохраняет свое плодородие; при компенсации веществ и энергии с определенной степенью превышения происходят улучшение почвы, "расширенное воспроизводство" ее плодородия.

6.11.2.5. Закон толерантности

Закон толерантности: "Ограничивающее влияние на урожай оказывает не только недостаток, но и избыток каких-либо факторов". По сути, этот закон расширяет и дополняет "закон минимума". Закон толерантности впервые

был сформулирован В. Шеффордом (1913, 1934). Само понятие "толерантность" означает выносливость организма по отношению к колебаниям какого-либо экологического фактора. При этом диапазон между экологическим минимумом и максимумом фактора составляет так называемый "предел толерантности" – величину выносливости организма к данному фактору.

Биологический и агрономический смысл закона толерантности заключается в том, что для роста и развития растений характерен как экологический минимум, так и максимум. Данный закон был дополнен Ю.Н. Одумом (1975) следующими принципиальными положениями:

- величина диапазона толерантности организмов к различным факторам неодинакова. Так, растения нормально развиваются в более широком диапазоне концентраций в почве фосфора, чем азота;

- если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для данного вида растений, то может сузиться и диапазон толерантности к другим факторам. Так, с изменением температуры воздуха изменяется диапазон толерантности к увлажнению;

- часто условия, найденные как оптимальные в краткосрочных лабораторных или вегетационных опытах для данного растения, оказываются неоптимальными в полевых условиях. В данном случае несовпадение оптимальности факторов связано с тем, что вегетационный сосуд как физическая модель не подобен по ряду критериев полю;

- пределы толерантности к какому-либо фактору не постоянны в течение онтогенеза. Существуют критические периоды, в которые многие факторы являются лимитирующими. Так, проростки люцерны погибают при таком значении рН среды, при котором взрослые растения способны развиваться.

6.11.2.6. Закон плодосмена

Закон плодосмена: "Любое агротехническое мероприятие более эффективно при плодосмене, чем при бессменном посеве".

Большую роль в обосновании и научной формулировке этого закона сыграл в конце XVIII – начале XIX вв. А.Д. Тэер. Он предлагал перестроить систему земледелия на основе поддержания количества гумуса в почве на постоянном уровне. Решение этой проблемы ученый видел в "плодосмене" – чередовании сельскохозяйственных культур с разными корневыми системами. "Введение плодосмена – действительно большая заслуга Тэера", – отмечает один из ведущих отечественных ученых-почвоведов Л.О. Карпачевский (1983).

В интерпретации В.В. Ермоленкова, А.А. Шалюто, В.Н. Прокоповича и др. (1998), сущность этого закона заключается в том, что "более высокие урожаи получаются при чередовании культур в пространстве и во времени, чем при бессменных посевах". Необходимость чередования различных культур на полях обусловлена тем, что различные культуры по-разному оказывают влияние на свойства почвы и на окружающую среду.

Обосновывая причины и значение чередования сельскохозяйственных культур в севообороте, с точки зрения повышения их урожайности, Д.Н. Прянишников еще в начале XX столетия писал: "Причины, по которым правильное чередование культурных растений в севообороте оказывается более продуктивным, чем непрерывное возделывание одной и той же культуры (или более или менее одинаковых по своим свойствам растений), можно разделить на 4 группы:

- 1) причины химического порядка, т. е. различия в химическом составе растений и потреблении ими питательных веществ;

2) причины физического порядка, т. е. различия в состоянии почвы и ее влажности после уборки разных культур;

3) причины биологического порядка, т. е. разное отношение культур к болезням, вредителям и сорным травам;

4) причины экономического порядка, т. е. различия в количестве и распределении во времени труда, которого требуют культуры, их разное значение для хозяйства".

По мнению В.Д. Панникова и В.Г. Минеева (1977), следует иметь в виду и причины, связанные с различной почвозащитной ролью тех или иных сельскохозяйственных растений, а также с мелиоративным значением некоторых культур, прежде всего многолетних трав в севооборотах орошаемого земледелия. Они же обращают внимание на большое значение правильного чередования культур в рациональном использовании водного режима почвы.

В основе указанного закона лежит общебиологический закон единства и взаимосвязи растительных организмов и условий среды. Необходимость чередования различных культур на полях обуславливается тем, что различные культуры по-разному оказывают влияние на свойства почвы и на окружающую среду. По-разному изменяются агрофизические свойства почвы, водный, воздушный, тепловой и пищевой режимы. Каждая культура или группа культур имеют свои биологические особенности по влиянию на состав почвенной микрофлоры и интенсивность развития отдельных физиологических групп микроорганизмов. Именно на основе этого закона разрабатываются принципы построения современных севооборотов.

6.11.2.7. Закон соответствия растительного сообщества своему местообитанию

"Закон соответствия растительного сообщества своему местообитанию: "Каждое (любое) растительное сообщество должно в полной мере соответствовать своему местообитанию".

Как отмечает Ю.А. Штомпель (1999), развивая почвоводоохранную концепцию А.А. Жученко (1990), "...одним из законов земледелия, который непременно надо учитывать при создании устойчивых агроландшафтов, является соответствие растительного сообщества своему местообитанию. Поскольку каждая культура обладает видоспецифической экологической устойчивостью, необходимо правильное агроклиматическое макро- и микрорайонирование культивируемых растений". Этот закон, по мнению ученого, имеет очень важное значение для противоэрозионного земледелия, ведущегося на склоновых землях.

6.11.2.8. Закон автотрофности зеленых растений

Закон автотрофности зеленых растений: "Зеленые растения, используя энергию солнечного света и поглощая из воздуха углекислый газ, а из почвы воду и минеральные соединения, синтезируют все необходимые им органические вещества в количествах, обеспечивающих полное развитие и высокую урожайность растений".

Как отмечает В.П. Нарциссов (1976), по времени открытия и общей значимости в биологии и агрономии этому закону следует отвести первое место, — он объединил теории фотосинтеза и минерального питания растений. В соответствии с этим законом, одним из основополагающих принципов при формировании урожая должно быть быстрое образование оптимальной листовой по-

верхности, способной в наибольшей степени усваивать солнечную энергию для синтеза сахаров, аминокислот, белков, ферментов и других соединений, из которых создаются новые клетки, протоплазма, ткани и органы растений.

6.11.2.9. Закон антагонизма ионов

Закон антагонизма ионов: "Отдельные химические элементы, находясь в почве или в водном растворе в избытке, препятствуют поглощению растениями других элементов".

Этот закон впервые сформулировал в середине XIX в. скандинавский ученый Оскар Лев. Вывод, который следует из данного закона: соотношение элементов в почве должно быть оптимальным, – в противном случае находящиеся в избытке те или иные химические элементы могут препятствовать поглощению растениями других элементов. Поэтому при неправильном соотношении элементов в почве их поступление в растение может значительно затрудняться.

6.11.2.10. Закон соответствия культуры земледелия уровню социально-экономического развития общества

Закон соответствия культуры земледелия уровню социально-экономического развития общества: *"Культура земледелия определяется уровнем социально-экономического развития общества"*. Этот закон впервые был сформулирован А.Х. Шеудженом (2001).

Мировой опыт развития систем земледелия – от древних примитивных систем до современных интенсивных технологий – свидетельствует о том, что уровень культуры земледелия в конечном счете определяется степенью развития человеческой цивилизации, являясь своего рода функцией технического (научно-технического) прогресса. Так, довольно-таки высокий уровень земледельческой культуры в Древней Греции и Риме во многом определялся высоким уровнем античной цивилизации, давшей миру десятки и сотни выдающихся умов философов, писателей, поэтов, историков и, что для нас особо важно, – ученых-аграрников. Бесконечные войны и всплеск религиозного фанатизма, мракобесие инквизиции в эпоху средневековья заметно затормозили развитие человеческой цивилизации; соответственно, и земледелие вернулось чуть ли ни к первобытному состоянию.

В свою очередь, XIX и особенно XX столетия характеризовались поистине революционными открытиями энергии пара, электричества, расщепленного атомного ядра; появились и стали широко использоваться двигатели внутреннего сгорания. Эти столетия, явившиеся своеобразным "венцом" технократической цивилизации современности, обусловили и резкий подъем земледельческой культуры: внедрение научно обоснованных систем земледелия, создание разнообразного парка земледельческих машин, работающих на принципиально новых источниках энергии, интенсивное и плодотворное развитие аграрных наук.

С этой точки зрения несомненный интерес представляет весьма образное и вместе с тем методологически четко сформулированное высказывание К.А. Тимирязева: "Культура поля всегда шла об руку с культурой человека". Этот тезис развивает Л.О. Карпачевский (1983): "Повышение урожайности сельскохозяйственных культур требует повышения энерговооруженности хозяйства, развития химического производства, машиностроения. Высокая культура сельскохозяйственного производства требует также соответствующего уровня развития сельскохозяйственной науки, в том числе мелиорации, почвоведения и агрохимии".

6.11.2.11. Закон возрастания плодородия почвы

Закон возрастания плодородия почвы: "В самой природе почвообразовательного процесса, совершающегося при ведущей роли живых организмов, заложено неизбежное возрастание со временем плодородия почвы" (Панников В.Д., 1972).

В формулировке В.В. Ермоленкова, А.А. Шелото, В.Н. Прокопович и др. (1998), он представлен как "закон прогрессивного роста эффективного плодородия почв". Комментируя этот закон в своей работе "Земледелие", они подчеркивают, что он "обосновывает прогрессивный (скорее всего, ученые имели в виду: "прогрессирующий"? – Авт.) рост эффективного плодородия почв по мере интенсификации земледелия". По утверждению указанных выше авторов, этот закон однозначно свидетельствует о непрерывности увеличения продуктивности почв при одновременном повышении их плодородия, росте продукции растениеводства с единицы площади с наименьшими затратами. При этом непрерывность увеличения продуктивности почв в условиях интенсификации обуславливается широкой химизацией, мелиорацией и механизацией. Одним из неперемных условий эффективного действия этого закона является, по мнению авторов, "строгое соблюдение других законов земледелия, особенно закона плодосмена и закона возврата питательных веществ, поскольку значительная часть выросшей органической массы отчуждается с урожаем".

6.11.2.12. "Закон" убывающего плодородия почвы

"Закон" убывающего плодородия почвы: "Каждое добавочное вложение труда и капитала в землю сопровождается не соответствующим, а уменьшающимся приращением количества добываемого продукта; каждая последующая прибавка урожая достигается с большими затратами, чем предыдущая".

Этот "закон" был сформулирован еще в XVIII в. французским экономистом А.Р. Тюрго, дополнен английским ученым Э. Вестом и "впоследствии был использован Т.Р. Мальтусом для обоснования "теории перенаселения". Однако, некоторые авторы ошибочно связывали данный "закон" с именем Ю. Либиха. В связи с этим следует вспомнить предупреждение Д.Н. Прянишникова (1965) о том, что попытки искусственно "пристегнуть" этот "закон" к законам земледелия, открытым Ю. Либихом, неправомерны: "Некоторые смешивают закон минимума Либиха с так называемым законом убывающего плодородия почвы, с недоразуменным (так в тексте! – Авт.) учением Мальтуса, – но на деле здесь нет ничего общего".

С аргументированной критикой этого "закона" выступил В.Р. Вильямс (1939): "До очевидности ясно, – писал он, – что этот последний "закон" – не закон природы, а иллюстрация неправильного подхода к объяснению сложных процессов, функций многих факторов, связанных законами взаимной интерференции".

О недопустимости смешивания учения Т.Р. Мальтуса с законами земледелия говорят и в работе А.М. Лыкова, А.А. Короткова, Г.И. Баздырева и др. (1990). Ученые отмечают, что воздействие на плодородие почвы в условиях сельскохозяйственного производства основывается на том, что ни один из факторов жизни растений (элементы питания, вода, воздух и т.д.) не может быть заменен другим, так как все они равнозначимы. Поэтому повысить урожайность культурных растений можно лишь при одновременном улучшении

питательного, водного и воздушного режимов. "Одностороннее же воздействие на какой-либо фактор без изменения в желательном направлении других, – подчеркивают ученые, – приводит к постепенному уменьшению эффекта (так называемый "закон убывающего плодородия почвы")".

Современные данные аграрной науки и практики, экономики и статистики полностью отвергают существование "закона убывающего плодородия почвы". Основная методологическая ошибка этого "закона", по мнению А.П. Щербакова и И.Д. Рудай (1983), – "в игнорировании достижений научно-технического прогресса в сельском хозяйстве, сущность которого проявляется в том, что дополнительные затраты труда и средств в земледелии способствуют не простому повторению приемов обработки земли, а внедрению новых машин, более совершенных агротехнических приемов, дальнейшему развитию химизации и мелиорации земель". С этой точки зрения, гораздо большего внимания в условиях современной интенсификации сельскохозяйственного производства, на наш взгляд, заслуживает приведенный выше "закон возрастания плодородия почв". Закон убывающего плодородия может иметь действие в условиях экстенсивного земледелия, слабом применении органических и минеральных удобрений.

6.11.2.13. "Закон" народонаселения Мальтуса

"Закон" народонаселения Мальтуса: "Рост производства средств существования вообще и размножение растительных и живых организмов в частности идут в арифметической прогрессии, а прирост народонаселения - в геометрической прогрессии".

Этот "закон" впервые был сформулирован английским экономистом и священником Т.Р. Мальтусом в его книге "Опыт закона о народонаселении" (1798). Согласно предложенной им схеме, в результате явного несоответствия темпов "размножения растительных и живых организмов" темпам прироста народонаселения, в обществе образуется абсолютно избыточное население, не находящее себе ни работы, ни пищи, возникает и растет обнищание масс. Именно на этой почве между людьми происходит "борьба за существование", "война всех против всех", чем, по мнению Мальтуса, и объясняются происходящие на Земле бесконечные войны.

В хозяйстве, как и в химии, не должно упускаться из виду основного химического закона – сохраняемости вещества. Вещество только претерпевает различные физические и химические изменения, перемещается место и форму, но не творится и не пропадает. При росте, например, растения оно не само из себя увеличивается в массе, оно растет только потому, что поглощает газы из воздуха, а своими корнями из земли всасывает воду вместе с веществами, в ней растворенными. Питательные вещества, доставляемые растению из воздуха, всегда одни и те же и никогда не могут иссякнуть. Совершенно иное с содержанием их в почве. Если ничего не делается для пополнения этих последних, то почва, лишаясь их с каждым урожаем, должна оскудеть.

Д.И. Менделеев, 1880

7. УДОБРЕНИЯ: СВОЙСТВА, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПРИМЕНЕНИЕ

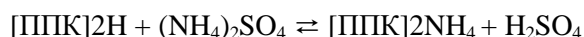
Одним из действенных средств поднятия урожайности сельскохозяйственных культур является снабжение их удобрениями.

И.В. Сталин, 1939

7.1. Классификация, ассортимент и свойства удобрений

Слово "*удобрение*" происходит от слова "*одобрить*", сделать почву доброй, щедрой и имеет в русском языке два значения. Им обозначают как сам процесс применения удобрения, так и вещества, предназначенные для питания растений и повышения плодородия почв. В первом значении, например, можно сказать: "удобрение почвы", во-втором – "азотное удобрение".

По характеру действия на почву и растения удобрения подразделяют на прямые и косвенные. Под *прямыми* понимают удобрения, применяемые ради содержащихся в них элементов питания, необходимых растениям, а под *косвенными* – вещества, которые используют для улучшения свойств почвы. К группе прямых – относятся все виды минеральных и органических удобрений. К косвенным удобрениям относятся средства химической мелиорации (известь, гипс, фосфогипс) и бактериальные препараты, способствующие усилению активности биологических процессов в почвах. Необходимо заметить, что такое деление довольно условное, т. к. каждое из этих удобрений может оказать и прямое, и косвенное воздействие. Попадая в почву, удобрение не только улучшает минеральное питание растений, но и оказывает влияние на агрохимические свойства почвы. Влияние на почву может быть как положительным, так и отрицательным. Например, сульфат аммония может оказывать не только прямое положительное влияние на питание растений азотом и серой, но и косвенное – подкислять почву, имеющую высокую потенциальную кислотность:



Вследствие физиологической кислотности этого удобрения реакция почвенного раствора также смещается в сторону подкисления. Систематическое

применение даже рекомендованных норм* сульфата аммония в значительной степени изменит реакцию почвенного раствора. Косвенные удобрения, такие как известь, гипс, помимо устранения кислотности или щелочности почвы, могут оказывать и прямое действие, благодаря содержанию в них необходимого для питания растений элемента – кальция.

По способу производства удобрения подразделяются на **промышленные** и **местные**. К промышленным относятся почти все минеральные удобрения, которые получают в результате размола или химической переработки агроруд на специальных химических туковых заводах, а также синтетические продукты азотной промышленности, побочные продукты химических производств, выпускаемые промышленным способом органические и органо-минеральные удобрения. Сюда же условно можно отнести и бактериальные препараты, получаемые на заводах при размножении определенных видов микроорганизмов. К местным – относятся удобрения, получаемые в местах их использования, непосредственно в хозяйствах или вблизи них. К таким удобрениям относят навоз, навозную жижу, птичий помет, фекалии, компосты, торф, золу, известковые туфы, озерный (прудовый) ил, зеленое удобрение, а также местные известковые материалы, отходы металлургической, гидролизной и других видов промышленности, используемые в сельском хозяйстве вблизи мест соответствующих производств.

По составу или происхождению удобрения подразделяют на *минеральные, органические, органо-минеральные* и *бактериальные*.

Минеральные удобрения – это промышленные продукты или ископаемые вещества, содержащие необходимые для питания растений элементы в минеральной форме. Они, как правило, содержат элементы питания в форме минеральных солей, реже в составе органических соединений. Для производства минеральных удобрений используют ископаемые залежи, азот атмосферы и побочные продукты промышленных производств. В настоящее время в общем балансе вносимых в почву питательных веществ, на долю минеральных удобрений приходится около 60 %. Минеральные удобрения подразделяют на макро-, мезо- и микроудобрения. Макроудобрения в качестве действующего вещества содержат азот, фосфор, калий, кремний; мезоудобрения – кальций, магний, серу, железо; микроэлементы – бор, кобальт, марганец, медь, молибден, цинк.

Органические удобрения – это свежие или биологически переработанные вещества растительного или животного происхождения, используемые в качестве удобрения для повышения плодородия почв.

Органо-минеральные удобрения – удобрения, состоящие из органического вещества и связанных с ним химически или адсорбционно-минеральных соединений. Их получают путем химической обработки аммиаком или фосфорной кислотой органических веществ, содержащих гуминовые кислоты, или смешивания органического удобрения с минеральными туками. Из органических удобрений для этих целей наиболее пригодны навоз-сыпец или перегной, торфяные компосты с навозной жижей и птичьим пометом и низинный, хорошо проветренный торф; из минеральных удобрений – все формы азотных, фосфорных и калийных туков, а также известковые материалы.

Бактериальные удобрения – это препараты, содержащие культуру микроорганизмов, способствующих улучшению состава и повышению активности полезной почвенной микрофлоры, благодаря которой создаются благоприятные условия для минерального питания растений. Питательных веществ они не содержат.

* Норма удобрения – количество удобрения, вносимого под сельскохозяйственную культуру за период ее выращивания.

По агрегатному составу минеральные удобрения бывают *твердые, жидкие, суспензированные*, а по строению – *порошковидные, кристаллические и гранулированные*.

В зависимости от влияния на реакцию почвенного раствора различают *физиологически кислые, щелочные и нейтральные* минеральные удобрения. К физиологически кислым относят удобрения, катионы которых больше поглощаются растениями, чем анионы, и в результате подкисляют почвенный раствор. К физиологически щелочным удобрениям принадлежат такие удобрения, анионы которых лучше ассимилируются растениями, а катионы постепенно накапливаются и, соединяясь с гидроксидом, подщелачивают почву. Физиологически нейтральные минеральные удобрения не изменяют реакцию почвенного раствора.

По содержанию действующих веществ удобрения различают: низкоконцентрированные (< 25 %); концентрированные (25–60 %); высококонцентрированные (60–100 %); ультраконцентрированные (> 100 %). *Под действующим веществом* понимается элемент питания, содержащийся в удобрении. Оно выражается в процентах от физической массы: в азотных удобрениях – в расчете на N, в фосфорных – P₂O₅, в калийных – K₂O, в магниевых – MgO, микроудобрения – на одноименные микроэлементы. Исчисление содержания действующих веществ в удобрениях можно вести также на элементы. От оксидов (P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, SiO₂) и солей к элементам (P, K, Ca, Mg, Si) переходят с помощью коэффициентов пересчета:

N=NO ₃ × 0,226	NO ₃ =N × 4,427
N=NH ₃ × 1,822	NH ₃ =N × 1,215
N=NH ₄ × 0,776	NH ₄ =N × 1,288
P=P ₂ O ₅ × 0,436	P ₂ O ₅ =P × 2,291
P=PO ₄ × 0,026	PO ₄ =P × 3,066
K=K ₂ O × 0,830	K ₂ O=K × 1,205
K=KCl × 0,525	KCl=K × 1,901
K=K ₂ SO ₄ × 0,449	K ₂ SO ₄ =K × 2,228
K=K ₂ CO ₃ × 0,566	K ₂ CO ₃ =K × 1,767
Ca=CaO × 0,713	CaO=Ca × 1,399
Ca=(CaSO ₄ ·2H ₂ O) × 0,237	CaSO ₄ ·2H ₂ O=Ca × 4,295
Mg=MgO × 0,603	MgO=Mg × 1,658
Na=Na ₂ O × 0,772	Na ₂ O=Na × 1,348
Fe=Fe ₂ O ₃ × 0,699	Fe ₂ O ₃ =Fe × 1,430
Fe=FeO × 0,773	FeO=Fe × 1,286
Al=Al ₂ O ₃ × 0,529	Al ₂ O ₃ =Al × 1,889
Si=SiO ₂ × 0,468	SiO ₂ =Si × 2,139
Cl=NaCl × 0,607	NaCl=Cl × 1,648
Cl=KCl × 0,476	KCl=Cl × 2,030
S=K ₂ SO ₄ × 0,184	K ₂ SO ₄ =S × 5,435
S=SO ₃ × 0,401	SO ₃ =S × 2,497
Mn=MnO × 0,775	MnO=Mn × 1,291
Mn=MnSO ₄ × 0,364	MnSO ₄ =Mn × 2,748
Cu=CuO × 0,799	CuO=Cu × 1,252
Cu=(CuSO ₄ ·5H ₂ O) × 0,254	CuSO ₄ ·5H ₂ O=Cu × 3,929
B=B ₂ O ₃ × 0,311	B ₂ O ₃ =B × 3,212
B=H ₃ BO ₃ × 0,121	H ₃ BO ₃ =B × 8,237
B=(Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O) × 0,197	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O=B ₅ ·070
Zn=ZnSO ₄ ·7H ₂ O × 0,227	ZnSO ₄ =Zn × 4,399
Mo=(NH ₄) ₂ MoO ₄ × 0,489	(NH ₄) ₂ MoO ₄ =Mo × 2,043
Co=(CoSO ₄ ·7H ₂ O) × 0,210	CoSO ₄ ·7H ₂ O=Co × 4,772

Норму или дозу удобрений в действующем веществе в кг/га показывают в виде подстрочного индекса, например N₆₀P₉₀K₃₀. Для пересчета минеральных удобрений на 100 %-ное содержание действующих веществ, физическую массу данного удобрения умножают на процентное содержание действующих веществ и делят на 100.

Минеральные удобрения делятся на **однокомпонентные** (простые, односторонние), содержащие один дефицитный элемент питания и **комплексные** (многосторонние), включающие одновременно не менее двух дефицитных элементов питания. К однокомпонентным относятся азотные, фосфорные, калийные, а так же однокомпонентные мезо- и микроудобрения.

Для сокращенного выражения состава той или иной марки комплексных удобрений принято обозначать содержание в них действующих веществ цифрами, отделяемыми друг от друга знаками тире. Первая цифра означает процентное содержание азота (N), вторая – пятиоксида фосфора (P₂O₅), третья – оксида калия (K₂O). При отсутствии в удобрении одного из действующих веществ его обозначают нулем. Если в удобрении содержатся микроэлементы, их обозначают четвертым знаком, например удобрение марки 17-17-17-2(B). Действующие элементы, входящие в состав комплексных удобрений, сокращенно обозначают NPK в трехкомпонентных и NP, NK и PK в двухкомпонентных удобрениях.

Соотношение действующих веществ в комплексных удобрениях также обозначают цифрами, при этом содержание азота принимают за единицу. Для удобрения приведенного выше состава, это соотношение будет 1:1:1.

Комплексные удобрения по способу производства подразделяют на *сложные, комбинированные, смешанные и сложносмешанные*.

К **сложным удобрениям** относятся химические соединения, в состав которых входят не менее двух наиболее дефицитных для растений элементов питания. Сложные удобрения получают в едином технологическом цикле при химическом взаимодействии исходных компонентов.

Комбинированные удобрения – это такие удобрения, в одной грануле которых содержится не менее двух наиболее дефицитных элементов питания в виде отдельных химических соединений.

Смешанные удобрения представляют собой механическую смесь простых удобрений.

Сложносмешанными удобрениями называют такие, в которых к сложным удобрениям примешивают односторонние удобрения.

Термином "*вид минерального удобрения*" обозначают категорию удобрения, выделяемую по действующему веществу, а термином "*форма минерального удобрения*" – их характеристику по химическому составу.

Удобрения отличаются по физико-химическим и механическим свойствам. К основным показателям, характеризующим свойства удобрений, относятся: гигроскопичность, слеживаемость, гранулометрический (фракционный) состав, средний размер частиц, прочность гранул, угол естественного откоса (покоя), влагоемкость, истинная и насыпная плотность, однородность состава тукосмесей и расслаиваемость (сегрегация), рассеиваемость, солевой состав, кристаллическая структура, растворимость, давление паров и термодинамические характеристики.

Гигроскопичность – свойство удобрения поглощать влагу из окружающей среды. Распространенная оценка гигроскопичности – определение гигроскопической точки, которая выражается в %. Для водорастворимых солей гигроскопическая точка (*h*) определяется отношением парциального давления паров воды над насыщенным раствором соли (*Pa*) при данной температуре к давлению паров воды в момент насыщения ими воздуха (*P*) при той же температуре:

$$h=(Pa/P)\cdot 100.$$

Гигроскопическая точка соответствует равновесной относительной влажности, т.е. относительной влажности при которой вещество не поглощает и не теряет влагу. При предельно допустимом содержании влаги удобрение должно иметь гигроскопическую точку не выше, чем среднегодовая относительная влажность воздуха.

Гигроскопичность оценивается по 10-балльной шкале. Сильной гигроскопичностью обладают кальциевая селитра (до 9,5 балла) и аммонийная селитра (9,3); средне- и слабогигроскопичны двойной гранулированный суперфосфат (4,7), мочевины (3,6), хлористый калий (3,2–4,4 балла). При высокой гигроскопичности удобрения слеживаются, гранулы становятся непрочными, ухудшается сыпучесть и рассеиваемость. Условия хранения, транспортировки удобрений, их упаковка зависят от их гигроскопичности. Без тары допускается перевозить и хранить только слабогигроскопичные удобрения – с баллом ≤ 3 , сильногигроскопичные удобрения (7–10 баллов) хранят в полиэтиленовых мешках.

Слеживаемость – свойство удобрения терять сыпучесть и образовывать агломераты различной величины и прочности. Слеживаемость проявляется лишь после определенного периода хранения удобрений в статических условиях. Слеживаемость удобрений зависит от их влажности, гигроскопичности, гранулометрического состава, а также условий и продолжительности хранения. Слеживаемость определяется по сопротивлению к разрушению слежавшегося удобрения. Степень слеживаемости оценивается по семибалльной шкале (табл. 61; Кочетков В.Н., 1982).

Таблица 61 – Условная градация слеживаемости удобрений

Балл	Степень слеживаемости	Сопротивление к разрушению агломератов, kPa
I	Слегка слеживается	>98,1
II	Слабо слеживается	98,1–196,2
III	Несколько слеживается	196,3–392,4
IV	Слеживается в средней степени	392,5–686,7
V	Значительно слеживается	686,8–981,0
VI	Сильно слеживается	981,1–1471,5
VII	Очень сильно слеживается	>1471,5

К сильнослеживающимся удобрениям относится мелкокристаллический хлористый калий – 6 баллов. Слеживаемость карбамида, сульфата аммония, аммонийной селитры (фракция 1–3 мм) оценивается соответственно 1–2, 2–3, 3–4 баллами. Практически не слеживаются сульфат калия и калимагнезия.

Слеживаемость водорастворимых минеральных удобрений может быть уменьшена в результате гранулирования, снижения содержания влаги, повышения прочности гранул, охлаждения продукта перед складированием или затариванием, его кондиционирования, использования герметичной упаковки, создания необходимых условий хранения.

Сыпучесть (C_{II}) – свойство удобрений свободно истекать непрерывной струей под воздействием гравитационных сил.

Рассеиваемость – это способность удобрения поступать на дозирующие и разбрасывающие устройства машин для внесения и равномерно распределяться по поверхности почвы. Равномерность поступления удобрений на разбрасывающие устройства определяется их сыпучестью. Качество распределения удобрения

ний современными машинами при поверхностном внесении зависит от фракционного состава туков. Рассеиваемость зависит от гранулометрического состава, сыпучести и прочности гранул. Оценивается по 12-балльной системе: чем лучше рассеиваемость, тем выше балл (табл. 62; Кочетков В.Н., 1982).

Таблица 62 – Шкала рассеиваемости удобрений в баллах

Балл	Качественная оценка	Балл	Качественная оценка
12–8	Очень хорошо	5–4	Недостаточно удовлетворительно
8–7	Хорошо	4–3	Мало удовлетворительно
7–6	Удовлетворительно	3–2	Плохо
6–5	Слабо удовлетворительно	2–0	Очень плохо

Равномерность распределения удобрений по поверхности почвы зависит от сыпучести удобрений и конструкции машин, вносящих удобрения.

Гранулометрический (фракционный) состав, или тонина помола (размер частиц), определяется механически – просеиванием удобрений через набор сит. От плотности крупных и мелких фракций зависят слеживаемость и рассеиваемость удобрений. При внесении удобрений, однородных по гранулометрическому составу, центробежными машинами они равномерно поступают на дозирующее устройство и распределяются по ширине захвата машины.

Средний размер частиц, близких по размеру, определяется по уравнению:

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2},$$

где: D – средний диаметр частиц;
D₁ – диаметр отверстия сита, через которое проходит вся масса материала;
D₂ – диаметр отверстия сита, которое удерживает частицы.

Прочность гранул определяет сохранность гранулометрического состава удобрений при транспортировании, хранении и внесении их в почву. Она, прежде всего, зависит от влажности, размера, формы и плотности кристаллов, природы контактов срастания. Прочность гранул характеризуется динамической прочностью P_д, прочностью на истирание P_и и статической прочностью P_с. **Динамическая прочность** гранул характеризует, в основном, их хрупкость. Ее оценивают числом разрушенных гранул после их сбрасывания с определенной высоты на твердую поверхность; **прочность гранул на истирание** – долей сохранившихся гранул при испытании. **Статическая прочность** гранул характеризуется средним пределом прочности при их одноосном сжатии. Статическая прочность гранул изменяется в пределах 0,5–8,0 МПа, она активно зависит от влажности, т. е. значительно более чувствительна (по сравнению с P_д и P_и) к изменениям в физико-химической структуре гранул удобрений.

Угол естественного откоса (покоя) – угол, образованный между горизонтальной плоскостью и плоскостью откоса кучи сыпучего удобрения. Этот показатель учитывается при строительстве складов, где удобрения хранятся насыпью, проектировании бункеров, выборе транспортных средств. Угол естественного откоса является также показателем рассеиваемости удобрений.

Выщелачивание удобрений – выщелачивание водорастворимых компонентов из удобрений при их хранении под открытым небом. В лабораторных условиях выщелачивание применяется при необходимости экстрагирования из твердых удобрений элементов питания растений.

Влагоемкость удобрений – предельное количество влаги, которое удобрение способно удержать. Она соответствует максимальной влажности, позволяющей удобрению удовлетворительно рассеиваться туковыми сеялками. Сорбционная влагоемкость удобрений определяется максимальной массой влаги, поглощенной из воздуха при данной его влажности и температуре. "Буферная" влагоемкость определяет массу влаги, которую можно добавить к стандартному (по содержанию влаги) удобрению без ухудшения его способности рассеиваться.

Насыпная плотность – масса единицы объема сыпучего вещества, определяемая в т/м^3 . Она является функцией плотности вещества, размера частиц, фракционного состава, влажности и давления вышележащих слоев. Объем единицы массы (Y) – величина, обратная насыпной плотности:

$$Y=1:X,$$

Средняя масса (X) вещества определяется для бункеров и силосов с вертикальными стенками из следующего уравнения:

$$X = \frac{a + b}{2},$$

где: a – насыпная плотность свободно насыпанного продукта;
b – насыпная плотность нижнего (сдавленного) слоя.

Насыпная плотность учитывается при проектировании складских помещений и бункеров.

Насыпную плотность, выщелачивание, угол естественного откоса, способность к расслаиванию (для смешанных удобрений) и вязкость необходимо учитывать для оценки состояния качества удобрений при их хранении. При организации хранения удобрений следует знать и такие их характеристики, как огне- и взрывоопасность, а также химические свойства – свободную кислотность, способность к ретроградации, выделению аммиака.

Кислотность – содержание свободной кислоты в удобрении, выраженное в процентах.

Щелочность – содержание свободного основания в удобрении, выраженное в процентах.

Растворимость удобрений – масса удобрения в килограммах, которая может быть растворена в 100 л воды при определенной температуре.

Ретроградация – понижение содержания водо- или цитратно- и лимоннорастворимых форм в удобрении при хранении или нейтрализации. Ретроградации в основном подвержены фосфорные удобрения. Ретроградация вызывается наличием в фосфорных удобрениях полуторных окислов, R_2O_3 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$), извести, а снижается при грануляции.

Дефлаграция (сигарообразное горение) удобрений – самораспространяющееся разложение удобрений. Удобрение считается подверженным дефлаграции, если небольшая реакционная зона в нем передвигается с определенной скоростью через всю разлагающуюся массу. Этот процесс протекает без пламени и не требует для реакции кислорода из воздуха. Разложение начинается в результате местного перегрева и сопровождается экзотермической реакцией с выделением газов и повышением температуры в зоне реакции до 250–500 °С. Выделяющееся при этом тепло путем конвекции, теплопроводности и излучения передается близлежащей еще не разложившейся части удобрения, в кото-

рой также происходит нагрев и инициирование процесса разложения. Чем выше температура, тем интенсивнее происходит процесс разложения.

Самоподдерживающееся экзотермическое разложение удобрений возможно при одновременном присутствии ионов NO_3^- , NH_4^+ , и Cl^- . При этом анион Cl^- играет роль катализатора. Уже 0,05 % содержание анионов хлора в смеси приводит к потерям азота, которые достигают максимума при его концентрации – 0,5 %. Каталитическим действием обладают микроэлементы – Co, Cr, Cu. Введение меди в виде суспензии 0,01–0,5 % $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в удобрения типа нитрофоски перед их гранулированием приводит к увеличению скорости дефлорации с 6 до 24 см/ч. Аналогичная картина наблюдается и при опудривании гранул CuO , Cu_2O , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Одновременное добавление $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1,2 % Mg и 1,6 % S) и тетрабората натрия снижает способность сложного удобрения к самораспространяющемуся разложению. Кондиционирующие добавки увеличивают скорость горения удобрений. Температура горения у кондиционированного удобрения примерно 410°C, без кондиционирования 350–365 °C.

Снижение самопроизвольного разложения удобрений достигается введением нейтрализующих веществ – аммиака, гидратированной извести, цианамиды, оксида кальция или магния, цементной пыли; изготовлением удобрений с большим содержанием фосфата аммония, т. к. его разложение происходит с поглощением тепла, что снижает суммарный тепловой эффект. По мере повышения влажности сложных удобрений тенденция к их разложению исчезает. Влажность от 5 до 15 % снижает или снимает способность удобрений к самоподдерживающемуся разложению. Присутствие иона SO_4^{2-} в виде $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и K_2SO_4 оказывает стабилизирующее действие на нитрофосфаты, что объясняется образованием в этих удобрениях стабильных форм фосфатов.

7.2. Минеральные удобрения

Применение удобрений, основанное на развитии крупной химической промышленности, является одним из мощных факторов не только поддержания плодородия на постоянном уровне, но и дальнейшего повышения эффективного плодородия почв.

Д.Н. Прянишников, 1934

7.2.1. Макроудобрения

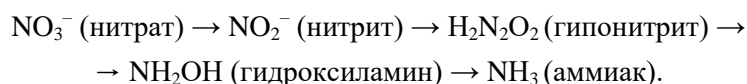
7.2.1.1. Азотные удобрения

Азотные удобрения в зависимости от содержащихся в них форм азота подразделяются на шесть групп:

- нитратные, содержащие азот в окисленной форме в виде солей азотной кислоты (кальциевая селитра, натриевая селитра);
- аммонийные – азот присутствует в виде иона аммония, связанного с какой-нибудь кислотой (сульфат аммония, хлористый аммоний);
- аммонийно-нитратные – азот присутствует одновременно в аммонийной и нитратной формах (аммонийная селитра);
- амидные – азот находится в амидной форме (мочевина, цианамид кальция, мочевино-формальдегидные удобрения);
- аммиачные – азот содержится в основном в виде свободного аммиака (аммиачная вода, безводный аммиак);
- карбамид-аммонийно-нитратные (карбамид-аммиачная смесь – КАС).

Все три формы соединений азота – нитратная NO_3^- , аммонийная (NH_4^+), и амидная (NH_2) могут служить растению источником азотного питания. Но между ними имеются и определенные различия, которые необходимо учитывать при выборе того или иного удобрения, в соответствии с типом почвы и биологическими особенностями выращиваемых культур.

Из всех поступивших в растения форм соединений азота только один аммиак может быть непосредственно использован для биосинтеза аминокислот. Нитраты и нитриты могут вовлекаться в синтез аминокислот только после их восстановления в тканях растений. Процесс ферментативного восстановления нитратов, который происходит в растении благодаря окислению углеводов, можно выразить следующей схемой:



Ферментативное восстановление нитратов происходит преимущественно в корнях, однако и клетки листьев обладают этой способностью.

Нитрат-ион NO_3^- не поглощается почвой, а находится в подвижном, свободном состоянии в почвенном растворе и может быстро поступать в растение, значительно опережая поглощение корнями анионов хлора. Это положительный момент, т. к. накопление избыточных количеств ионов хлора (Cl^-) в тканях растений отрицательно влияет на формирование и качество урожая. Кроме того, нитратный азот может накапливаться в растениях в значительных количествах, не причиняя им вреда. В то же время, нитраты при обильных поливах легко вымываются из пахотного слоя в нижележащие горизонты почвы, что приводит к загрязнению окружающей среды и неэффективному использованию удобрений.

Аммонийный азот NH_4^+ , так же как и нитратный NO_3^- , легко и быстро поглощается растениями. Причем, аммонийная форма азота при поступлении в растения сразу и непосредственно может быть использована для синтеза аминокислот, в то время, как нитратный должен еще пройти процесс восстановления до аммиака, при этом расходуя определенное количество энергии. С этой точки зрения аммонийный азот является более экономичной формой, чем нитратный азот. Однако, в отличие от нитратов, аммиак в свободном виде в значительных количествах без вреда не может содержаться в тканях растений. Накопление его, особенно при недостатке углеводов (источника кетокислот), ведет к аммиачному отравлению растений. Поэтому аммонийные (аммиачные) удобрения нельзя вносить большими дозами* перед посевом, особенно под культуры, семена которых бедны углеводами. Так, например, свекла значительно хуже переносит избыток аммония, чем нитратов. Картофель, клубни которого имеют большой запас углеводов, способен переносить высокие дозы азота в аммонийной форме.

На характер поступления различных форм азота и их усвоения растениями оказывает влияние реакция почвенной среды. Аммонийный азот является лучшим источником элемента при нейтральной реакции (рН 7,0) почвенного раствора, а нитратный – при кислой – (рН 5,5). На характер поступления азота также влияет наличие сопутствующих катионов и анионов в почвенном растворе. Большему поглощению растениями нитратов способствует натрий

* Доза удобрения – количество удобрения, вносимого под сельскохозяйственную культуру за один прием.

и калий, а лучшее усвоение аммонийной формы азота обеспечивают магний и кальций. Кроме того, растения могут значительно легче переносить большую концентрацию NO_3^- в почвенном растворе, чем NH_4^+ .

Наличие в почвенном растворе двухвалентных катионов кальция и магния необходимо для устранения его физиологической неуравновешенности, которая получается в результате избыточного накопления в почве одновалентного иона NH_4^+ , что имеет место на малобуферных почвах.

Аммонийный азот, в отличие от нитратного, уменьшает поглощение корневой системой катионов, в первую очередь калия, и увеличивает поступление фосфат-ионов. Кроме того, соли аммония смещают в растениях соотношение между кальцием и калием и особенно между калием и фосфором в сторону уменьшения калия, что отрицательно влияет на обмен веществ, рост и развитие растений. Следовательно, соли аммония проявляют, в определенной степени, свое физиологическое действие на растительный организм через кальций, магний, калий и фосфор. Это происходит наряду с определенным физиологическим действием на растения самих солей аммония. Поэтому, изменяя состав питательной смеси в значительной степени, можно не только уравновесить действие ионов аммония с нитратами, но и улучшить его.

Эффективность аммонийных форм азота в значительной степени зависит от обеспеченности растений калием. При хорошем обеспечении растений этим элементом усиливаются окислительно-восстановительные процессы, ускоряется поступление в растения аммонийного азота, а также синтез органических веществ, в т.ч. образование белков. При недостатке калия, вследствие замедления синтетических процессов, аммиак может накапливаться в тканях растений в количествах, токсических для них.

При нитратном источнике азота значительно возрастает роль фосфора, повышающего интенсивность восстановительного потенциала клетки. При выборе той или иной формы азотного удобрения необходимо учитывать также трансформацию их в почве. На почвах без растительного покрова могут быть значительные потери нитратов вследствие их вымывания. При сухой и прохладной погоде в почву лучше вносить нитратные удобрения, чем аммонийные.

Особое внимание на формы азотных удобрений следует обращать при их использовании в условиях защищенного грунта. В зимние месяцы при недостатке естественного света под овощные культуры в теплицах предпочтительнее применять удобрения, содержащие азот в нитратной форме – натриевую, калиевую и кальциевую селитры. При этом необходимо помнить, что натриевая и кальциевая селитры являются физиологически щелочными удобрениями. Это обусловлено тем, что растения из $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и NaNO_3 значительно быстрее и больше поглощают ионы NO_3^- , чем Ca^{2+} и Na^+ . Ионы же кальция и натрия, накапливаясь в почвенном растворе, способствуют его подщелачиванию. Нельзя забывать и о том, что в тепличном овощеводстве применение $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и NaNO_3 может способствовать засолению грунта. Натрий в очень незначительных количествах используется овощными культурами. Поэтому при систематическом внесении NaNO_3 ионы Na^+ накапливаются в грунте, что приводит к его засолению. Кальций в значительных количествах попадает в грунт с поливной водой. Если учесть, что в теплицах за сезон расходуется на 1 м^2 700–900 л воды, содержащей 50–150 мг/л кальция, то с поливной водой вносится за сезон на 1 м^2 50–130 г/л кальция. С урожаем этого элемента выносятся лишь около 40 г/м². Кальций, содержащийся в удобрениях, также будет способствовать засолению грунтов теплиц.

При недостатке света, имеющем место зимой, нельзя вносить высокие нормы удобрений, содержащих азот в аммонийной форме. Это связано с тем, что при низкой освещенности снижается образование в растениях углеводов, которые расходуются на связывание аммонийного азота при синтезе аминокислот и впоследствии белка. В весенние и летние месяцы удобрения, содержащие азот в аммонийной форме, по своему действию на урожай овощных культур могут превосходить нитратный, что объясняется двумя причинами. Поступивший в растения аммонийный азот, в отличие от нитратного, непосредственно используется на синтез аминокислот и белков без дополнительных энергозатрат. Нитратный же азот, как уже было сказано выше, включается в метаболизм только лишь после его восстановления до аммиака. Кроме того, аммонийный азот практически не вымывается из зоны распространения корней. При внесении аммонийных удобрений – сульфата и хлорида аммония необходимо помнить, что они являются физиологически кислыми. Ион аммония NH_4^+ из NH_4Cl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ значительно быстрее поглощается растениями, чем анионы SO_4^{2-} и Cl^- . Накапливающиеся в почве сульфат и хлорид-ионы способствуют подкислению почвенного раствора. Из аммонийных удобрений в тепличном овощеводстве в весенние и летние месяцы предпочтительнее сульфат аммония. Внесение хлорида аммония в закрытом грунте способствует засолению грунта.

Определенную осторожность в условиях закрытого грунта необходимо проявить и при применении мочевины. Ее рекомендуется применять исключительно в весенние и летние месяцы. Внесение высоких норм мочевины зимой может привести к массовому аммиачному отравлению растений. Это объясняется тем, что мочевина в почве быстро превращается в карбонат аммония и в растения азот из мочевины поступает преимущественно в аммонийной форме. Однако зимой из-за недостатка света замедлен синтез углеводов, которые связывают ионы NH_4^+ , вовлекая их в биосинтез. Вследствие этого они накапливаются в растениях, вызывая их отравление.

Более универсальным удобрением, в отличие от мочевины и других удобрений, содержащих азот в нитратной или аммонийной формах, является аммонийная селитра. Половина азота в ней содержится в форме аммония, который способен поглощаться почвой, а другая – в форме нитратов, обладающих большой подвижностью в почвенном растворе. Это позволяет широко дифференцировать способы, нормы и сроки применения аммонийной селитры в зависимости от свойств почвы, климата и биологических особенностей удобряемых культур. Ее можно использовать под овощные культуры в теплицах в любое время года. Единственно, на что необходимо обращать внимание, это то, что аммонийная селитра относится к физиологически кислым удобрениям. Из раствора нитрата аммония растения быстрее поглощают катион NH_4^+ , чем анион NO_3^- . При систематическом внесении на кислых и особенно на малобуферных песчаных почвах физиологическая кислотность аммонийной селитры может оказаться достаточно заметной. Однако, физиологическая кислотность этого удобрения на суглинистых почвах проявляется немного слабее, чем от других аммонийных удобрений.

7.2.1.1.1. Нитратные удобрения

Натриевая селитра (чилийская селитра) – NaNO_3 содержит 16 % азота в нитратной форме и 26 % натрия. Она встречается в природе в виде залежей.

О существовании месторождений чилийской селитры было впервые упомянуто в 1809 г. проживающим в Боливии немцем Тадеусом Хенсе, который написал книгу об использовании естественных нитратов в качестве удобре-

ния. Разработка этих месторождений селитры была начата испанцами в 1813 г., а впервые в 1830 г., она экспортировалась из Перу, которому в то время принадлежали эти месторождения. В Европу селитру в 1847 г. доставил парусный корабль "Эль Глобо". Эта партия была использована исключительно для приготовления взрывчатых веществ.

Пустыня, в которой были найдены залежи селитры, является частью плато Тарапака. Расположена она в северной части Чили. Плато раскинулось примерно на 720 км с севера на юг и на 24–80 км с запада на восток и находится на высоте 900–2700 м над уровнем моря. Это плато окружено горами: на востоке – Андами и на западе – прибрежными холмами. Дожди на этом плато редкие, и когда они выпадают, то бывают настолько слабыми, что всегда быстро испаряются. Вероятно, в свое время эта зона была влажной и очень плодородной, что подтверждается наличием окаменелых деревьев в земной толще. Основные залежи селитры находятся на восточных склонах горного хребта и располагаются на высоте от 1200 до 2100 м над уровнем моря. Средний слой пласта месторождений колеблется от 0,9 до 1,2 м, местами она бывает от нескольких сантиметров и доходит до 9 м. Залежи находятся на расстоянии от 24 до 80 км от морского побережья. По оценкам G.R. Mansfield (1926), запасы натриевой селитры в Чили в 30-е гг. XX столетия составляли 245,3 млн. т.

Происхождение чилийской селитры до настоящего времени остается загадкой. Были выдвинуты различные теории происхождения этих залежей. Некоторые из них объясняли возникновение залежей натриевой селитры фиксацией азота свободноживущими почвенными микроорганизмами или связыванием азота в результате электрических разрядов в воздухе, но эти теории не объясняют причин наличия в составе селитры иода.

Длительное время многими учеными признавалась теория происхождения селитры в результате разложения морских водорослей. Согласно этой теории, большое количество остатков морской растительности и животных организмов, после выхода этого плато из под слоя морской воды, оказалось в условиях, где могли иметь место процессы распада и нитрификации, в результате чего и образовались современные залежи чилийской селитры. Сторонники этой теории не обратили внимание на то, что для образования таких залежей нитратов потребовалось бы колоссальное количество органического вещества. Эта теория, тем не менее, дает объяснение наличию иода и фосфора в соответствующей породе. Как иод, так и фосфор могли отложиться в результате разложения морских водорослей. Однако, это предположение не объясняет отсутствие в селитре брома, который также является компонентом водорослей.

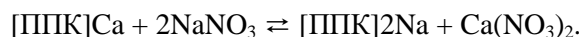
Другая теория, получившая некоторую поддержку, утверждает, что залежи селитры являются продуктом разложения навоза, полученного от гигантских стад лам и вигони, которые паслись на пастбищах, окружающих плоскогорья. Эта теория предполагает, что селитра была смыта водой с плоскогорий и отложена в результате испарения воды в современной долине. Но она не дает объяснения причин образования поваренной соли или иода. Большие залежи фосфоритов, которые могли бы образоваться в результате подобного разложения, до сих пор еще не найдены. Однако другая, несколько похожая теория предполагает, что селитра образовалась в результате процесса нитрификации азота залежей гуано, которые могли накопиться на берегах соленого озера.

Самой достоверной из высказанных теорий, хотя она в определенной степени спорная, нам представляется теория J.T. Singewald и B.L. Miller (1916), согласно которой чилийская селитра возникла в результате испарения воды,

содержащей растворенные нитраты, которые достигали плато после промывания осадочных горных пород и гравия, окружающих нагорья.

Синтетическая селитра появилась с открытием способа связывания атмосферного азота. Получают ее на заводах при производстве азотной кислоты из аммиака путем щелочной адсорбции окислов азота нитрозных газов. Производится в небольшом количестве.

Натриевая селитра представляет собой мелкокристаллическую соль белого или сероватого цвета, хорошо растворимую в воде. Она очень гигроскопична и при неправильном хранении слеживается. В сухом состоянии это удобрение хорошо рассеивается и удобно для внесения. Растворяясь в почвенном растворе, натриевая селитра вступает в обменные реакции с почвенным поглощающим комплексом:



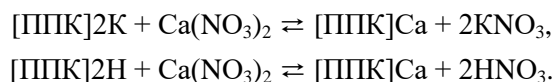
Связывание NO_3 в почве происходит исключительно биологическим путем. Нитратный азот сохраняет высокую подвижность в почве, а в условиях влажного климата или при обильном орошении легкодренируемых почв происходит его вымывание в нижележащие горизонты. Поэтому натриевую селитру лучше применять в качестве подкормки растений в период их вегетации.

Натриевая селитра – физиологически щелочное удобрение. Поэтому она наиболее эффективна на кислых неизвесткованных дерново-подзолистых почвах. Систематическое применение натриевой селитры уменьшает обменную и гидролитическую кислотности, увеличивает сумму и степень насыщенности почв основаниями. Наиболее благоприятно действует натриевая селитра на сахарную свеклу, которая положительно отзывается на натрий. В связи с этим натриевую селитру рекомендуют вносить в первую очередь под эту культуру путем проведения корневых подкормок.

Кальциевая селитра (*норвежская селитра*) – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ содержит 13–15 % азота, образуется при нейтрализации 40–48 %-й азотной кислоты мелом или известью, а также в качестве побочного продукта при производстве комплексных удобрений способом азотнокислотной переработки фосфатов.

Кальциевая селитра была первым синтетическим азотным удобрением. В промышленных масштабах ее производство было начато в 1905 г. в Норвегии, поэтому ее называют "норвежской селитрой". Это кристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. Обладает высокой гигроскопичностью и даже в нормальных условиях хранения сильно обводняется, расплывается. Хранят и перевозят ее в специальной водонепроницаемой упаковке. Для уменьшения гигроскопичности кальциевую селитру гранулируют с применением гидрофобных покрытий, однако это полностью не устраняет неблагоприятные физические свойства этого удобрения. Гигроскопичность кальциевой селитры оценивается 9,5 баллами по 10-балльной системе.

Кальциевая селитра – физиологически щелочное удобрение. При внесении в почву она легко растворяется в почвенном растворе. Катион Ca^{2+} вступает в обменные реакции с почвенным поглощающим комплексом и переходит в обменно-поглощенное состояние:



Оставаясь в почве в обменно-поглощенном состоянии, катионы кальция сдвигают реакцию среды в сторону подщелачивания. При систематическом применении кальциевой селитры на кислых почвах заметно снижается почвенная кислотность и улучшаются физические свойства почвы, т. к. кальций коагулирует почвенные коллоиды.

Анионы NO_3^- образуют с вытесненными из почвенного поглощающего комплекса катионами водорастворимые соли или азотную кислоту, сохраняя тем самым высокую подвижность. Анион NO_3^- не подвергается в почве ни физико-химическому, ни химическому, поглощению. Он может связываться в почве только лишь биологическим путем, что наблюдается в основном в теплый период года. В осенне-зимний период биологическое поглощение практически отсутствует. Поэтому кальциевую селитру не следует вносить заблаговременно осенью, особенно в районах с промывным водным режимом почв. Нецелесообразно ее внесение и в условиях влажного климата или при обильном орошении, особенно на легких почвах. Нитратный азот может вымываться, а также теряться в виде газообразных продуктов в процессе денитрификации.

Кальциевую селитру рекомендуют вносить под предпосевную обработку почвы. Ее используют в овощеводстве защищенного грунта и применяют для поверхностного внесения в качестве азотной подкормки озимых культур, лугов и пастбищ.

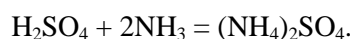
В настоящее время химическая промышленность стала выпускать жидкую кальциевую селитру с содержанием 11,5 % азота и 12 % кальция. Она предназначена для подкормки плодовых, ягодных, овощных и декоративных культур. Ее вносят в почву путем разбрызгивания по поверхности почвы перед посевом, с поливной водой или при подкормке растений. Норма внесения – 0,4 л/10 м², предварительно растворив в 10 л воды. Перед употреблением ее необходимо взболтать, температура хранения кальциевой селитры не ниже 10 °С. Эффективно применение кальциевой селитры под сахарную свеклу и зерновые культуры. Под сахарную свеклу вносят из расчета $N_{100-120}$, зерновые – N_{90} .

7.2.1.1.2. Аммонийные удобрения

Сульфат аммония (сернокислый аммоний) – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Химически чистая соль содержит 21,2 % азота, а технический продукт, идущий на удобрение, – 20,5 %. Кроме того, сульфат аммония в своем составе имеет 23–24 % серы, которая также является важным источником питания для растений. Сульфат аммония, полученный из аммиачной воды, в качестве минерального азотного удобрения впервые был применен в 1860 г.

В мировом производстве азотных удобрений на долю сульфата аммония приходится около 25 %, а в нашей стране – менее 6 %. Значительный удельный вес сульфата аммония в мировом производстве азотных удобрений объясняется широким применением его в орошаемом земледелии и в районах избыточного увлажнения.

Сульфат аммония получают нейтрализацией серной кислоты аммиаком, выделенным из отходящих газов при коксовании углей (коксохимический сульфат аммония), или поглощением серной кислотой газообразного синтетического аммиака (синтетический сульфат аммония):



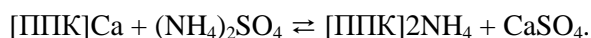
Образующийся в насыщенном растворе осадок $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ отделяют центрифугированием и высушивают. Благодаря низкой стоимости аммиака, получаемого из коксовых газов, коксохимический сульфат аммония стоит дешевле синтетического.

В России производство сульфата аммония впервые было начато в Донбассе на Щербинском руднике в 1899 г. путем улавливания и нейтрализации серной кислотой аммиака, образующегося в процессе коксования каменного угля. Такой сульфат аммония помимо азота и серы содержит небольшие количества кальция, магния и кремния, а синтетический сульфат аммония имеет 0,025–0,5 % свободной серной кислоты.

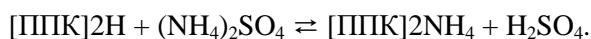
Коксохимический сульфат аммония содержит небольшое количество органических примесей – смоляных кислот, фенола и немного (не более 0,1 %) роданистого аммония (NH_4CNS). Последний токсичен для растений и при повышенном его содержании может оказывать на них вредное действие, особенно на малогумусных почвах с малым количеством гумуса и кальция.

Синтетический сульфат аммония белого цвета, а коксохимический из-за наличия органических примесей имеет серую, синеватую или красноватую окраску. Он легко растворяется в воде. При 20 °С в 100 см³ воды растворяется 76,3 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Плотность 0,8 т/м³. Сульфат аммония в сухом состоянии обладает хорошими физическими свойствами: мало слеживается при хранении, хорошо рассеивается туковой сеялкой. Перед внесением в почву его можно смешивать со всеми удобрениями, кроме щелочных (известь, зола, томас- и фосфатшлаки). Хорошо вносить сульфат аммония в виде смеси с фосфоритной мукой, которая устраняет подкисление почвы. Гигроскопичность удобрения невелика. Оно не расплывается на воздухе и сохраняет рассыпчатость.

Внесенный в почву, сульфат аммония быстро растворяется в почвенном растворе и вступает в обменные реакции с катионами жидкой и твердой фаз почвы. Значительная часть катионов аммония из растворенного сульфата аммония входит в почвенный поглощающий комплекс. Находясь в поглощенном состоянии, ионы аммония приобретают меньшую подвижность, не вымываются при орошении и обильных осадках. Схематически эти реакции обменного поглощения, можно представить следующим образом:



Так протекает реакция взаимного обмена на почвах, насыщенных основаниями. На почвах, имеющих высокую потенциальную кислотность, схематически реакция взаимного обмена протекает так:



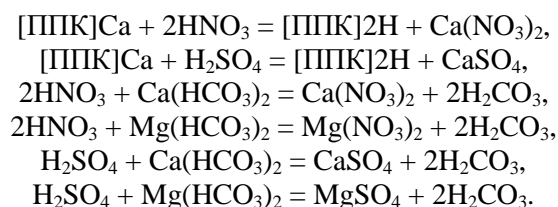
В результате происходит подкисление почвенного раствора.

После внесения сульфата аммония в почву, в микробиологические процессы включаются элементы, входящие в это удобрение. Аммоний сравнительно быстро (10–15 дней) в значительной своей части превращается почвенными микроорганизмами в нитраты, а часть азота при этом расходуется на построение их тел.

Переход аммонийного азота в нитратный совершается с различной быстротой в зависимости от температуры, влажности, воздушного режима и реакции почвы. Процесс биологического окисления азота сульфата аммония в почве приводит к образованию азотной и к освобождению серной кислот:



Образовавшиеся кислоты нейтрализуются поглощенными основаниями, гидрокарбонатом кальция или калия:



Нейтрализация минеральных кислот сопровождается разрушением гидрокарбонатов почвенного раствора и вытеснением оснований из почвенного поглощающего комплекса водородом. Это приводит к ослаблению буферной способности почвы и повышению ее кислотности. Подкисление почвы вызывается также физиологической кислотностью сульфата аммония. Его физиологическая кислотность обусловлена большим потреблением растениями катиона NH_4^+ , чем аниона SO_4^{2-} . Последний, соединяясь с водородом, образует серную кислоту, вызывающую подкисление почвенного раствора. На буферных черноземных почвах, в особенности на южных и обыкновенных, это обстоятельство имеет не отрицательное, а скорее положительное значение, т.к. подкисление, вызванное им, способствует мобилизации значительного количества питательных веществ почвы.

На кислых дерново-подзолистых почвах сульфат аммония увеличивает не только кислотность, но и содержание подвижных форм алюминия, марганца и железа, которые, достигнув определенной концентрации, наносят вред растениям и снижают их продуктивность. Токсическое действие сульфата аммония усиливается при длительном применении его на одном месте. Поэтому на слабокультуренных кислых дерново-подзолистых почвах без известкования сульфат аммония по своей эффективности значительно уступает нитратным формам азотных удобрений. Наиболее сильно подкисляющее действие сульфата аммония сказывается на культурах, чувствительных к почвенной кислотности: клевер, пшеница, ячмень, свекла и капуста. Для них это удобрение менее эффективно, чем нитратное. Применять его на кислых почвах можно только при условии их известкования или нейтрализации удобрения из расчета 1,2 кг размельченного известняка или 2 кг мела на 1 кг сульфата аммония. На кислых почвах хорошо сочетать внесение его с фосфоритной мукой.

Сульфат аммония является высокоэффективным азотным удобрением для картофеля, т. к. эта культура не боится подкисления почвы. Его рекомендуется вносить под рис и другие орошаемые культуры, где возможны значительные потери азота. В качестве основного удобрения сульфат аммония можно использовать на тяжелых почвах не только весной, но и осенью, не опасаясь вымывания азота. При внесении в рядки и в качестве подкормки сульфат аммония менее эффективен по сравнению с другими азотными удобрениями.

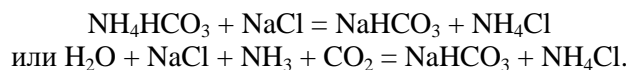
Сульфат аммония с полимерным покрытием. Содержит 20 % азота и 24 % серы, растворяется в воде более чем в три раза дольше, чем сульфат аммония без полимерного покрытия. Рекомендуется применять на сенокосах и пастбищах, размещенных на легких почвах, а также в районах орошаемого земледелия.

Традиционно используемый в сельском хозяйстве сульфат аммония в силу своей хорошей растворимости способствует в определенной степени загрязнению окружающей среды. Он не всегда обеспечивает растения азотом в критические периоды их роста и развития из-за потери его вследствие вымывания. Использование сульфата аммония с полимерным покрытием практически устраняет эти недостатки и уменьшает вымывание азота даже при высоких нормах его внесения.

Хлористый аммоний (NH_4Cl) – мелкокристаллическая белая или желтоватая соль с содержанием 24-25 % азота и 66 % хлора.

Хлористый аммоний – хорошо растворимое в воде удобрение. В 100 см^3 воды при температуре 20°C растворяется 37,4 г хлористого аммония. Плотность – $0,6 \text{ т/м}^3$. Обладает хорошими физическими свойствами, малогигроскопичен, при хранении почти не слеживается, хорошо рассеивается машинами.

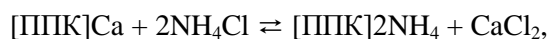
Хлористый аммоний получается в качестве побочного продукта при аммонийно-содовом производстве:



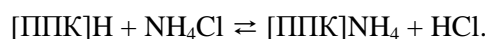
Раствор NaCl обрабатывается сначала NH_3 , затем CO_2 . После центрифугирования при сушке продукта NaHCO_3 переходит в Na_2CO_3 . Оставшийся раствор NH_4Cl упаривается до его кристаллизации.

Количество хлористого аммония, поступающего на удобрения, за вычетом на нужды промышленности, определяется масштабом содового производства. Таким образом, в ассортименте азотных удобрений он имеется, но количество его по сравнению с другими удобрениями ограничено.

Хлорид аммония, внесенный в почву, быстро растворяется и вступает в обменные реакции так же, как и сульфат аммония. На черноземных почвах реакция взаимного обмена идет по следующей схеме:



а на дерново-подзолистой почве:



Следовательно, под влиянием применяемого хлористого аммония, кислотность почвенного раствора увеличивается.

Хлористый аммоний, как и сульфат аммония, подвергается в почве нитрификации. Однако окисление аммония до азотной кислоты идет несколько медленнее, что связано с отрицательным влиянием иона хлора на жизнедеятельность нитрифицирующих бактерий. Кроме того, хлористый аммоний так же, как и сульфат аммония, обладает физиологической кислотностью, поскольку растения поглощают катион NH_4^+ , быстрее, чем анион Cl^- . Накопление кислотного остатка в слабобуферной почве ведет, как и в случае с сульфатом аммония, к подкислению почвы, ухудшению ее физических свойств и уменьшению биологической активности. Следовательно, все мероприятия по повышению эффективности сульфата аммония в равной степени относятся и к хлористому аммоний. К ним относятся известкование почвы, предварительная нейтрализация удобрения (на 1 ц NH_4Cl добавлять 1,4 ц CaCO_3), применение его с щелочными солями, сочетание с органическими удобрениями.

Хлористый аммоний содержит больше азота, чем сульфат аммония, а его подкисляющее действие на почву такое же. Однако значительное количество хлора, вносимое при удобрении хлористым аммонием, заставляет соблюдать осторожность в отношении чувствительных к хлору культур (картофель, табак, виноград, клевер, гречиха, подсолнечник, люпин, лен, конопля, овощи). Так, картофель может снизить содержание крахмала на 0,7–1,5 %, табак – ухудшить качество урожая в отношении сгорания. У других культур такого значительного снижения качества урожая не наблюдается.

На легких и кислых почвах отрицательное влияние хлора проявляется сильнее, чем на более тяжелых с нейтральной или щелочной средой.

Хлористый аммоний не следует вносить в повышенных нормах под культуры, чувствительные к хлору. Вносить его надо заблаговременно, осенью. В этом случае ионы хлора легко вымываются из корнеобитаемого слоя осенне-весенними атмосферными осадками.

По эффективности хлористый аммоний не уступает сульфату аммония при внесении на черноземах под сахарную свеклу, а также при средних нормах на сероземах под хлопчатник.

Сульфат аммония-натрия $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ – кристаллическая соль желтого цвета. Является отходом производства капролактама и содержит 16 % азота и 9 % натрия (Na_2O).

Сульфат аммония-натрия имеет достаточно хорошие физические свойства: малогигроскопичен, почти не слеживается и хорошо рассеивается. Плотность – $0,8 \text{ т/м}^3$. Это удобрение физиологически кислое, т.к. растения из этой соли преимущественно потребляют катион NH_4^+ , чем ионы Na^+ и SO_4^{2-} . В связи с наличием натрия подкисляющее действие этого удобрения на почву несколько слабее, чем сульфата аммония.

Почвой сульфат аммония-натрия связывается в малоподвижные, но доступные для растений соединения и незначительно выщелачивается атмосферными осадками и оросительными водами. В теплую погоду он, как аммонийное удобрение, может нитрифицироваться, после чего азот может вымываться в форме нитратов. При внесении сульфата аммония-натрия на кислых почвах необходимо известкование или нейтрализация самого тука. Для устранения подкисляющего действия на 1 ц этого удобрения добавляют 1 кг размельченного известняка.

Сульфат аммония-натрия служит хорошим удобрением для сахарной свеклы и растений из семейства капустовых, отзывчивых на серу и натрий. Его используют также для подкормки сенокосов и пастбищ.

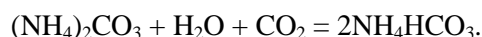
Карбонат аммония* $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ – средняя углеаммонийная соль с содержанием 21–24 % азота. По внешнему виду – кристаллическое вещество белого цвета. Получают двумя способами: насыщением аммиачной воды углекислотой с последующей отгонкой карбоната аммония при температуре 70–80 °С и взаимодействием газообразного аммиака и углекислого газа в присутствии паров воды.

Карбонат аммония очень нестойкий продукт; при хранении на открытом воздухе легко разлагается с выделением летучего аммиака, постепенно переходя в кислую углеаммонийную соль – гидрокарбонат аммония (NH_4HCO_3). Чем продолжительнее хранение карбоната аммония и выше при этом температура воздуха, тем больше потери азота. Для уменьшения летучести аммиака предложено несколько способов хранения: прессование удобрения, обволакивание его смолистыми веществами, покрытие раствором поваренной соли.

Карбонат аммония имеет щелочную реакцию, но при внесении в почву, подвергаясь процессу нитрификации, довольно быстро переходит в нитратную форму и несколько подкисляет почвенный раствор. По действию на растения близок к аммонийной селитре и мочеvine. Имеет преимущество перед сульфатом аммония, т.к. обладает меньшей физиологической кислотностью. Несмотря на это, карбонат аммония не получил широкого распространения в качестве удобрения из-за большой нестойкости при хранении. Может применяться на всех типах почв и под все культуры, нуждающиеся в азоте. Наиболее эффективен на фоне фосфорных и калийных удобрений, а также на известкованных почвах..

Бикарбонат аммония (NH_4HCO_3) – кислая углеаммонийная соль с содержанием 17,7 % азота. Получают на основе адсорбции газообразного аммиака и углекислоты раствором карбоната аммония:

* Удобрения, отмеченные звездочкой, в настоящее время не производятся.



В осадок выпадает белый кристаллический гидрокарбонат аммония. Остающийся в растворе двууглекислый аммоний насыщают газообразным аммиаком:



Карбонат аммония, образующийся в растворе, вновь используют для производства гидрокарбоната аммония.

Бикарбонат аммония используется в сельском хозяйстве как азотное удобрение в ограниченном количестве, т.к. это соединение нестойкое, легко разлагается при обычной температуре, что приводит к значительным потерям азота. За 5–6 месяцев хранения в весенне-летний период потери азота в виде аммиака могут достигать 20–40 %. Бикарбонат аммония вносят на поверхность почвы и следом заделывают на глубину 10–12 см. В почве он распадается:



Бикарбонат аммония имеет щелочную реакцию, но в результате процесса нитрификации аммония подкисляет почвенный раствор. Бикарбонат аммония обладает крайне плохой сыпучестью, что затрудняет его механизированное внесение. По эффективности это удобрение близко к аммонийной селитре и мочеvine. Обладает несколько большей стойкостью по сравнению с карбонатом аммония. Преимущество перед сульфатом аммония – отсутствие балластных компонентов и более слабая физиологическая кислотность.

7.2.1.1.3. Аммонийно-нитратные удобрения

Аммонийная селитра (нитрат аммония) NH_4NO_3 – универсальное азотное удобрение, содержащее 34,6 % аммонийного и нитратного азота в соотношении 1:1. Традиционное название – аммиачная селитра – не совсем верно. Правильнее называть это удобрение аммонийной селитрой.

Аммонийную селитру получают путем нейтрализации 45–58 %-ной азотной кислоты газообразным аммиаком:



Раствор нитрата аммония сначала выпаривают до концентрации 99,6–99,8 % ("плав") и при температуре 174–176°C разбрызгивают в верхней части грануляционной башни. При охлаждении капли затвердевают, образуя гранулы.

Аммонийную селитру выпускают в виде гранул диаметром 1–3 мм. Основные требования к аммонийной селитре: содержание азота не менее 34,6 %, влажность не более 0,3 %, реакция нейтральная или слабнокислая, нерастворимых примесей не более 0,1 %. Аммонийная селитра очень гигроскопична, на воздухе отсыревает и слеживается, превращаясь при высыхании в плотные глыбы, требующие дробления и просеивания. Для уменьшения слеживаемости при производстве вводят добавки (нитрат магния, сульфат аммония). Может применяться припудривание гранул известковой пылью, фосфоритной мукой. Плотность гранулированной аммонийной селитры 0,85 т/м³.

Аммонийная селитра очень хорошо растворяется в воде; при температуре 20°C в 100 см³ растворяется 192 г, а при 100°C в том же объеме воды – 871 г NH_4NO_3 .

Аммонийную селитру упаковывают во влагонепроницаемые мешки. Хранят ее в сухом складе. В противном случае даже гранулированная селитра

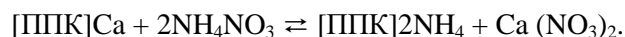
слеживается, и перед внесением в почву для придания рассыпчатости ее приходится дробить и просеивать через решета 2–3 мм. При хранении мешки с нитратом аммония нельзя складывать в высокие бурты или штабеля, т. к. удобрение в нижних слоях бурта будет сильно уплотняться и слеживается.

Следует также иметь в виду, что аммонийная селитра огнеопасна и при определенных условиях может взрываться. Поэтому ее необходимо хранить вдали от легковоспламеняющихся материалов. При нагревании до 200–270 °С удобрение начинает разлагаться и выделять кислород, способствующий горению, кроме того, при условии детонации может взрываться. Аммонийную селитру рекомендуется хранить в удаленных от других помещений складах емкостью не более 500 т.

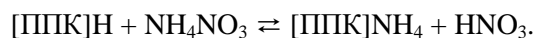
Наряду с указанными недостатками аммонийная селитра имеет ряд ценных качеств. В ней высокое содержание азота, нет балластных компонентов. В каждой частичке (молекуле) содержится быстродействующий подвижный нитратный азот, не поглощаемый почвой, и менее подвижный азот в аммонийной форме.

Аммонийная селитра при внесении в почву быстро растворяется в почвенном растворе. Из раствора NH_4NO_3 растения быстрее поглощают катион NH_4^+ , чем анион NO_3^- , поэтому аммонийная селитра физиологически кислое удобрение. Однако подкисляющее действие ее на почву выражено слабее, чем сульфата аммония.

При взаимодействии NH_4NO_3 с почвенным поглощающим комплексом катион NH_4^+ поглощается почвой, а анион NO_3^- остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность:



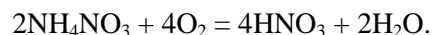
При недостатке в почве кальция на кислых подзолистых почвах внесение аммонийной селитры может вызвать некоторое подкисление почвенного раствора.



Подкисление почвенного раствора при внесении NH_4NO_3 носит временный характер, т. к. исчезает по мере потребления нитратного азота растениями. В первое же время, особенно при неравномерном рассеивании аммонийной селитры, в почве могут создаваться очаги с высокой кислотностью, которые могут оказывать отрицательное влияние на прорастание семян и начальный рост растений.

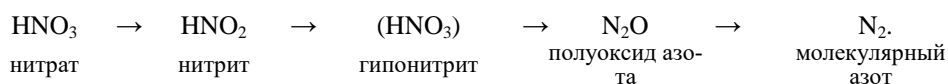
При длительном применении аммонийной селитры на малобуферных дерново-подзолистых почвах подкисление может быть довольно ощутимым, в результате эффективность этого удобрения заметно снижается, особенно при внесении под культуры, чувствительные к повышенной кислотности. Для повышения эффективности NH_4NO_3 на кислых почвах большое значение имеет их известкование (или нейтрализация кислотности самого удобрения известью или доломитом при соотношении 1:1). На почвах, насыщенных основаниями (чернозем, серозем), даже при систематическом внесении высоких норм аммонийной селитры подкисления почвенного раствора не происходит.

Азот этого удобрения, находящийся в аммонийной форме, может подвергаться нитрификации, что так же временно подкисляет почву:

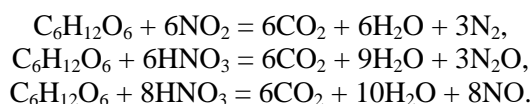


Часть нитратного азота удобрения и нитратов, образовавшихся при нитрификации аммонийного азота удобрения, подвергаются воздействию денит-

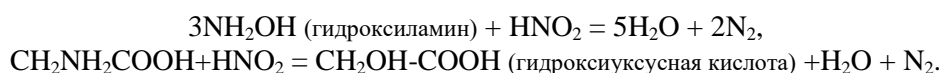
рифицирующих бактерий и теряются из почвы вследствие улетучивания газообразных продуктов денитрификации (N_2 , N_2O , NO). Денитрификация идет через промежуточные этапы:



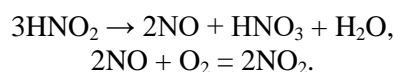
При биологической денитрификации происходят следующие реакции:



Газообразные потери азота могут быть в результате не только биологической денитрификации, но и некоторых химических реакций между промежуточными продуктами распада и другими органическими соединениями:



Промежуточный продукт – азотистая кислота (HNO_2) сама по себе не стойкая и при кислой реакции среды ($pH \leq 5,5$) разлагается с образованием таких летучих продуктов, как оксид (NO) и диоксид (NO_2) азота:



Потери азота в виде газообразных продуктов из азотных удобрений могут достигать до 15–30 %. В первый год азота из аммонийной селитры используется 40–50 %; 10–20 % нитратного и 20–40 % аммонийного азота превращается в органическую форму (иммобилизуется), на второй год – не более 10–15 % (2–3 % от внесенного с удобрениями). Особенно интенсивно процесс иммобилизации протекает при запашке в почву соломы злаков и других растительных остатков, содержащих мало азота и много углерода. Азот удобрений мобилизует азот почвы, который так же доступен растениям, что приводит к заметному повышению коэффициента его использования.

Аммонийная селитра по эффективности занимает одно из первых мест среди азотных удобрений. Ее можно вносить под различные культуры на всех типах почв. Аммонийную селитру применяют во все сроки в качестве основного удобрения под культуры, вегетирующие с осени (озимые), предпосевного удобрения, вносят ее при посеве и в подкормки в период вегетации растений.

В аммонийной селитре половина азота, содержащаяся в нитратной форме, легко мигрирует по профилю почвы. Поэтому на хорошо дренированных почвах легкого гранулометрического состава в районах достаточного или избыточного увлажнения и орошения аммонийную селитру нужно вносить в период наибольшего потребления азота растениями. Это предотвращает потери азота за пределы корнеобитаемого слоя почвы и способствует повышению коэффициента его использования растениями из аммонийной селитры.

Известково-аммонийная селитра $NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$. Выпускаемое удобрение содержит 26 % (марка А) и 22 % (марка В) азота и соответственно 17 и 27 % карбоната кальция. Известково-аммонийную селитру получают сплавлением или смешиванием нитрата аммония с определенным количеством извести, мела или доломита. Она менее гигроскопична, чем аммонийная селитра, меньше слежива-

ется, а поэтому может храниться в штабелях без особых предосторожностей. Известково-аммонийная селитра физиологически нейтральное удобрение. Она является ценным удобрением на кислых почвах, где кальций также выступает дефицитным элементом питания растений. Вносят ее под все культуры при всех способах внесения. На нейтральных или щелочных почвах известково-аммонийная селитра не имеет преимуществ перед аммонийной селитрой.

Сульфат-нитрат аммония* $2\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – двойная соль нитрата и сульфата аммония. В зависимости от способа производства, сульфат-нитрат аммония называют лейна-селитрой или монтан-селитрой.

Удобрение содержит 25–27 % азота, из них 18–19 % в аммонийной форме и 7–8 % в виде нитрата. Сульфат-нитрат аммония – соль сероватого цвета, выпускают его в мелкокристаллическом или гранулированном виде. Впервые он изготовлен на заводе в Лейна (Германия), почему и получил название лейна-селитра.

Сульфат-нитрат аммония может быть получен путем смешивания сульфата и нитрата аммония в сухом виде, или введением сухого сульфата аммония в концентрированный раствор аммонийной селитры, или одновременным получением двойной соли $2\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в растворе.

Монтан-селитра точно такая же двойная соль с содержанием около 65 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и 35 % NH_4NO_3 . Готовят монтан-селитру из насыщенного раствора сульфата и нитрата аммония.

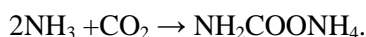
По сравнению с аммонийной селитрой, сульфат-нитрат аммония содержит значительно меньше азота, но больше, чем сульфат аммония. Соответственно содержанию азота он обладает лучшей транспортабельностью, чем сульфат аммония, и худшей чем аммонийная селитра. По подкисляющему действию он занимает также среднее положение между этими двумя удобрениями.

Применять сульфат-нитрат аммония можно на всех типах почв. Однако на кислых дерново-подзолистых почвах он вызывает дальнейшее подкисление среды и требует тех же предосторожностей при использовании, что и сульфат аммония, т.е. нейтрализации удобрения и известкования почвы. По эффективности он примерно равноценен сульфату аммония и аммонийной селитре.

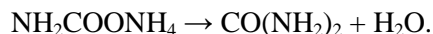
7.2.1.1.4. Амидные удобрения

7.2.1.1.4.1. Легкорастворимые удобрения

Карбамид (мочевина) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – амид угольной кислоты, органическое вещество кристаллического строения. Мочевина хорошо растворяется в воде. Для водных ее растворов характерна способность к пересыщению. Мочевина – конечный продукт белкового обмена у большинства живых организмов. Открыта в 1773 г. французским химиком И. Руэлем. В 1870 г. нашим соотечественником А.И. Базаровым разработан синтетический способ получения мочевины, основанный на реакции взаимодействия аммиака и диоксида углерода при температуре 180 °С и давлении 100 атм. в водном растворе. Синтез мочевины протекает в две стадии. Сначала образуется карбамат – аммонийная соль карбаминовой кислоты $\text{NH}_2\text{COONH}_4$, которая является промежуточным соединением между угольной кислотой и мочевиной:



Затем происходит термическое разложение карбамата аммония: отщепляется вода и получается мочевина:



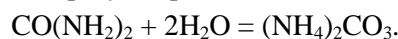
Плавы мочевины упаривают и гранулируют; готовый продукт имеет белые гранулы размером 1–2,5 мм. Мочевина содержит 46 % азота в амидной форме и является самым концентрированным твердым азотным удобрением. Она хорошо растворяется в воде: при 20 °С в 100 см³ растворяется 51,8 г мочевины. Гигроскопичность при температуре 20 °С сравнительно небольшая. При хороших условиях хранения слабо слеживается, сохраняет удовлетворительную рассеиваемость.

Во время грануляции и упаривания под влиянием высокой температуры из двух молекул мочевины выделяется одна молекула аммиака, в результате чего образуется биурет (карбамилмочевина) – $(\text{CONH}_2)_2\text{HN}$:

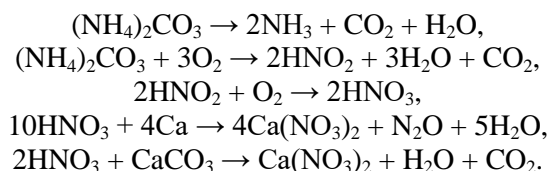


Повышенное содержание биурета в мочеvine снижает всхожесть семян, задерживает рост растений и уменьшает их продуктивность. Критический предел его содержания в мочеvine для ячменя и пшеницы 3,0–4,6 %, проса – 5,5, табака – 2–5, шелковицы – 2–3, а для риса – 6,8–10,2 %. При содержании биурета в мочеvine ниже указанных значений его токсичность не проявляется. По действующему в Российской Федерации стандарту содержание биурета в гранулированном удобрении не должно превышать 1 %. В этом количестве он отрицательно не действует на продуктивность растений.

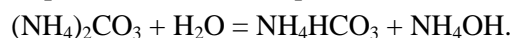
В почве под влиянием уробактерий, выделяющих фермент уреазу, мочеvина аммонифицируется, образуя карбонат аммония:



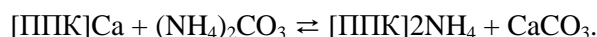
При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах мочеvина превращается в карбонат аммония за 2–3 дня. На малопродуктивных песчаных и заболотченых почвах этот процесс длительнее. Карбонат аммония неустоек и разлагается с образованием газообразного аммиака и непосредственно нитрифицируется и дает азотную кислоту, которая соединяется с почвенным кальцием:



На стадии аммонификации мочеvина временно подщелачивает почву:



Часть аммонийного азота используется растением, часть поглощается почвой:

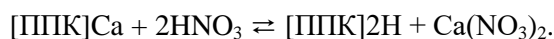


Обменно-поглощенный аммоний после вытеснения его другими катионами в почвенный раствор становится доступным для растений.

Мочеvина может поглощаться корнями, а также листьями растений без предварительного превращения в карбонат аммония. Однако сама мочеvина, пока она не подверглась аммонификации, может вымываться из почвы. Благодаря нитрифицирующим бактериям при благоприятных условиях карбонат аммония довольно быстро превращается в азотную и угольную кислоты:



В результате этой реакции происходит некоторое подкисление почвы. Оно может произойти в результате физиологической кислотности углекислого аммония. Поэтому мочеvина является физиологически кислым удобрением (хотя подкисление получается меньше, чем при использовании сульфата аммония и аммонийной селитры). Если почва насыщена кальцием и другими основаниями, то в растворе вместо азотной кислоты будет образовываться нейтральная соль $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$:



При применении мочевины на кислых почвах рекомендуется на 1 ц удобрения добавлять 0,8 ц CaCO_3 для нейтрализации ее потенциальной физиологической кислотности.

Мочевина – одно из лучших азотных удобрений и по эффективности равноценна аммонийной селитре, а на рисе – сульфату аммония. Ее можно применять как основное удобрение или в подкормку под все культуры и на различных почвах. При поверхностном внесении в почву мочевины необходимо своевременно заделывать, т. к. возможны потери азота вследствие улетучивания аммиака из карбоната аммония, легко разлагающегося на воздухе, особенно на карбонатных и щелочных почвах. Значительные потери в форме аммиака могут происходить при использовании мочевины в подкормку на лугах и пастбищах, поскольку дернина обладает высокой уреазной активностью. Мочевину можно применять для некорневой подкормки овощных и плодовых культур, а также для поздних подкормок пшеницы с целью повышения содержания белка в зерне.

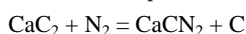
В отличие от других азотных удобрений, мочевина при некорневой подкормке даже в повышенной концентрации (>5 %) не обжигает листья и вместе с тем хорошо усваивается растениями.

Для более равномерного рассева мочевины непосредственно перед внесением тщательно смешивают с другими удобрениями. В день посева мочевины можно смешивать с суперфосфатом и хлористым калием. Хорошо смешивать мочевину с фосфоритной мукой, преципитатом. Во всех случаях смесь удобрений тщательно перемешивают.

7.2.1.1.4.2. Слаборастворимые удобрения

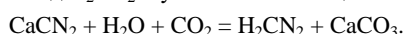
Цианамид кальция* CaCN_2 содержит 20–22 % азота. В состав технического продукта входит 58–60 % CaCN_2 , 20–28 % CaO , 9–12 % угля и незначительные количества кремниевой кислоты, оксидов железа и алюминия, карбамида кальция. Плотность – 0,6 т/м³.

Цианамид кальция был первым искусственно изготовленным азотным удобрением (Франк, Каро, 1890). Его получают при высоких температурах порядка 1000–1100 °С пропуская газобразного азота через тонко измельченный карбид кальция:



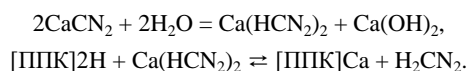
Для уменьшения пыления к продукту добавляется минеральное масло в пределах 1–3 %. Углерод и нефтяные масла придают удобрению темно-серый или черный цвет и слабый запах керосина.

Цианамид кальция обладает небольшой гигроскопичностью, и при нормальных условиях хранения не слеживается и хорошо рассеивается. При хранении цианамида с доступом влаги в нем происходят изменения, понижающие его удобрительную ценность. В этом случае он превращается в свободный цианамид H_2CN_2 и углекислый кальций:



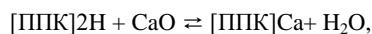
Свободный цианамид полимеризуется, образуя диианамид $(\text{H}_2\text{CN}_2)_2$ и некоторое количество мочевины. Присоединение воды и углекислоты к цианамиду кальция сопровождается увеличением его объема и понижением содержания азота. Поэтому его нужно хранить в сухом помещении и водонепроницаемой упаковке. При погрузках и внесении цианамид сильно пылит. Попадая в глаза и дыхательные органы, вызывает воспаление слизистой оболочки, разъедает кожу. При работе с ним для защиты глаз и рук необходимо надевать очки и перчатки.

В почве цианамид кальция подвергается гидролизу и взаимодействует с почвенным поглощающим комплексом:



В результате распада цианамида кальция получают продукты, усваиваемые растениями. Для этого требуется при благоприятных условиях 1–2 недели. Поэтому цианамид кальция надо вносить в почву заблаговременно, лучше всего с осени.

В составе удобрения, кроме кальция, входящего в молекулу CaCN_2 , содержится до 28 % свободной окиси кальция, которая, взаимодействуя с почвой, снижает ее кислотность:

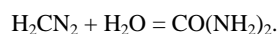


поэтому CaCN_2 в первую очередь применяют на кислых почвах.

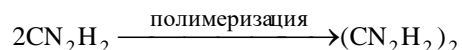
Цианамид кальция – щелочное удобрение, т. к. содержит значительное количество примеси CaO , которая подщелачивает почву.

Кислые дерново-подзолистые почвы, в которые систематически вносятся цианамид кальция, заметно улучшают свои агрохимические и физико-химические свойства, благодаря частичной нейтрализации кислотности и обогащению их кальцием. Это удобрение следует вносить не менее чем за 7–10 дней до посева или осенью под зябь, чтобы избежать вредного действия неразложившегося в почве цианамид кальция. Следует воздерживаться от применения его в подкормку. Для внесения в рядки, лунки и гнезда цианамид кальция непригоден.

Свободный цианамид (H_2CN_2) ядовит и анестезирующе действует на растения. Однако, во влажной почве при слабокислой ее реакции он быстро без участия микроорганизмов превращается в мочевины:



В редких случаях при неравномерном расходе в местах накопления удобрения возможно возникновение очагов с сильнощелочной реакцией. На этих участках возможна полимеризация цианамидов и образование дицианамидов:



Дицианамид – очень стойкое соединение и как свободный цианамид, хотя и в меньшей степени, но все же ядовит для семян и проростков. Вредное действие обнаруживается на растениях после некоторого накопления в них дицианамидов, особенно при недостатке азота в почве. Поэтому в практических условиях приходится говорить о возможном вредном действии дицианамидов, так как в силу его стойкости растения практически не используют азот из этого соединения.

7.2.1.1.4.3. Труднорастворимые (медленнодействующие) удобрения

Все азотные удобрения за исключением цианамидов, выпускаемые химической промышленностью, хорошо растворимы в воде. Сильная растворимость азотных удобрений в почве не всегда полезна. При внесении таких удобрений в больших нормах создается избыточно вредная концентрация химических элементов и высокое осмотическое давление почвенного раствора, ослабляющее рост растений. В районах избыточного увлажнения, особенно на легких почвах, возможно вымывание внесенного в нитратной форме азота и загрязнение ими водных источников.

В условиях орошаемого земледелия аммонийные (аммиачные) и аммонийно-нитратные удобрения быстро нитрифицируются и нитратный азот с нисходящим током оросительной воды вымывается из корнеобитаемого слоя почвы или с восходящим током выносится на ее поверхность. В результате быстрой нитрификации аммонийного азота удобрений и последующей денитрификации происходят значительные потери азота в газообразной форме. В результате всего этого снижаются коэффициент использования растениями азота из внесенных удобрений. Для устранения этих недостатков в последнее время производят труднорастворимые азотные удобрения. В отличие от обычных легко- и слаборастворимых азотных удобрений, они постепенно переходят в усвояемую форму и обеспечивают растения азотом в течение длительного времени. Преимуществом труднорастворимых азотных удобрений является то, что азот не вымывается из корнеобитаемого слоя и не выносится восходящим током влаги в поверхностный иссушаемый слой почвы.

Вследствие слабой растворимости медленнодействующие азотные удобрения не вызывают резкого увеличения концентрации почвенного раствора и повышения его осмотического давления. Это позволяет вносить удобрения за один прием для обеспечения растений усвояемым азотом в течение всего вегетационного периода.

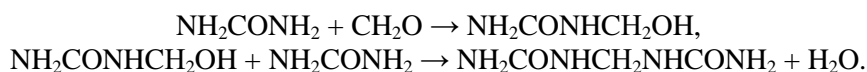
Применение труднорастворимых азотных удобрений перспективно в рисоводстве, а также в районах избыточного увлажнения для удобрения сельскохозяйственных культур, чувствительных к высоким концентрациям азота и большому осмотическому давлению.

Производство медленнодействующих удобрений развивается несколькими путями: 1) получение соединений с ограниченной растворимостью в воде (уреаформы); 2) покрытие частиц удобрений различными веществами (воск, парафин, масла, смолы, полимеры); 3) производство удобрений, содержащих ингибиторы нитрификации.

Учитывая, что большинство медленнодействующих азотных удобрений получают путем конденсации концентрированных эквимолекулярных растворов мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и формальдегида CH_2O , логично их рассмотреть одновременно с амидными удобрениями.

Мочевинно-формальдегидное удобрение (карбамидформ, уреаформ), МФУ – продукт конденсации мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и формальдегида – CH_2O .

Конденсация производится в концентрированных растворах обычно при эквимольном соотношении мочевины и формальдегида, подкислении реакционной среды до pH 3, при температуре 30–60 °С. При конденсации образуется смесь, состоящая из остатков молекул мочевины, связанных между собой метиленовыми группами (CH_2) и содержащих некоторое количество метаксильных групп (CH_2OH). В кислой среде образуется монометилмочевина $\text{CONHCH}_2\text{NH}_2\text{OH}$, которая конденсируется с мочевиной в метилендимочевину $\text{NH}_2\text{CONHCH}_2\text{NHCONH}_2$ с выделением воды:



Метилендимочевина, соединяясь с новыми частицами метилмочевины, образует полиметиленмочевину:



Образующийся конденсат отфильтровывается, высушивается и размалывается.

Удобрение выпускается в порошковидном и гранулированном виде. МФУ содержит 38–42 % общего азота, из них всего лишь 8–10 % находится в водорастворимой форме. Основная масса азота в этом удобрении труднорастворима в воде, следовательно, не вымывается и постепенно используется растениями в течение продолжительного времени. Один из главных показателей, характеризующих свойства этих удобрений – индекс усвояемости, т. е. то количество нерастворимого в воде азота, которое растворяется при кипячении удобрения в течение 1 ч. Величину его выражают в процентах водонерастворимого азота. В зависимости от реакции, температуры, молярного отношения мочевины к формальдегиду и продолжительности конденсации, индекс усвояемости МФУ колеблется от 15 до 55 %.

В некоторых странах за индекс усвояемости условно принимается то количество азота, которое нитрифицируется в течение 6 месяцев нахождения удобрения в почве. Степень нитрификации МФУ является важным показателем их эффективности. Она зависит от индекса усвояемости и свойств почв. МФУ с высоким индексом усвояемости способствуют большему и более быстрому накоплению в почве нитратного азота, чем с низким индексом. Кислая реакция почвы существенно снижает скорость превращения МФУ, поэтому известкование таких почв увеличивает скорость процессов их нитрификации. Высокие нормы МФУ по мере их минерализации постепенно подкисляют почву.

При определенных условиях конденсации, например, при температуре 30–40°C, получают МФУ с высоким содержанием доступного для растений азота, приближающиеся к легкорастворимым азотным удобрениям. В этом случае как медленнодействующее удобрение оно утрачивает свое основное свойство.

Азот мочевино-формальдегидного удобрения используется культурными растениями в течение нескольких лет. Обуславливается это тем, что под влиянием протекающих в почве биохимических и физико-химических процессов азот мочевино-формальдегидных соединений переходит в легко доступные для растений аммонийные, а затем нитратные формы.

Преимущество МФУ заключается в следующем: 1) внесение всей нормы азота на планируемый урожай в один срок, что позволяет значительно сократить затраты; 2) из-за пониженной растворимости этих удобрений в воде предотвращаются потери азота через улетучивание, вымывание, а также его переход в труднорастворимые органические соединения; 3) при применении МФУ повышается коэффициент использования азота растениями, предотвращается накопление избыточных количеств его в растениях, особенно в нитратной форме.

Мочевино-ацетальдегидное удобрение (МАУ) – содержит 36–38 % азота. По свойствам близко к мочевино-формальдегидному удобрению. Получается при конденсации мочевины со смесью формальдегида и ацетальдегида.

Кротонилидендимочевина (КДМ) – содержит около 32,5 % азота. Получается конденсацией кротонного альдегида с мочевиной. Азот КДМ используется растениями медленнее, чем азот мочевины и аммиачной селитры.

Изобутилидендимочевина (ИБДМ) – получается как побочный продукт производства 2-этилгексанола. Промышленный продукт содержит 32,2 % азота, выпускается в гранулах, негигроскопичен.

Оксамид (амид щавелевой кислоты $(\text{CONH}_2)_2$) – порошок белого цвета, очень слабо растворим в воде (0,02–0,1 г в 100 см³ при 20 °С). Содержит 31,8 % азота. Выпускается в гранулированном виде. Получается в результате синтеза из метана и аммиака. При внесении в почву весь азот оксамида постепенно переходит в доступную для растений форму, поэтому он является весьма перспективным медленнодействующим азотным удобрением для сельскохозяйственных культур.

Для повышения эффективности водорастворимых форм азотных удобрений, коэффициента использования азота растениями широко применяют *капсулированные азотные удобрения и ингибиторы нитрификации*. При капсулировании водорастворимых форм азотных удобрений гранулы покрываются пленками, через которые трудно и медленно проникает вода. Получаются своего рода медленнодействующие азотные удобрения. В качестве покрытий чаще используется парафин, эмульсия полиэтилена, соединения серы, акриловая смола, полиакриловая кислота и другие вещества. Такие гранулированные удобрения, покрытые пленками, обладают улучшенными физико-механическими свойствами: они менее гигроскопичны, механически более прочны, не слеживаются при хранении. Подбором состава и толщины покрытий можно получать удобрения с разной интенсивностью отдачи азота, т.е. пролонгированного действия с учетом биологических требований и периодичности питания азотом сельскохозяйственных культур. Капсулированные азотные удобрения используются растениями в процессе вегетации равномернее, что положительно сказывается на росте урожаев и качестве продукции, как, например, белковости зерна злаковых культур.

Азотсерокальциевое удобрение. Получают прессованием карбамида с фосфогипсом. Содержание азота составляет не менее 30 %, серы – не менее 7 %

Карбамид с гуминовой оболочкой. Содержит 46 % азота. Статическая прочность гранул несколько выше, чем у стандартного удобрения без гуминов. Положительный эффект от удобрения усиливается включением в состав оболочки биологического стимулятора роста – оксигумата или гидрогумата.

Карбамид с фосфатным покрытием. Медленнодействующее азотное удобрение, содержит не менее 39 % азота и более 7 % P_2O_5 . Растворяется в воде в полтора раза дольше, чем карбамид без покрытия.

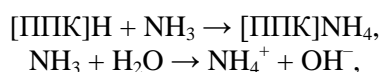
Карбамид с полимерным покрытием. Содержит не менее 42 % азота, растворяется в воде вдвое дольше стандартной мочевины.

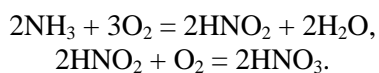
Из ингибиторов нитрификации чаще всего включают циангуанидин (дициандиаמיד), американский препарат N-serve (2хлор-6трихлорметил) пиридин и японский препарат АМ (2-амино-4хлор-6метилпиримидин). При внесении в смеси с мочевиной в нормах 0,5–1 % N-serve, 1–3 % АМ от количества азота удобрений ингибиторы тормозят процессы нитрификации в течение 1,5–2 месяцев, т.е. в период интенсивного потребления азота растениями. Скорость разложения ингибиторов в почве, а следовательно, и продолжительность их действия в наибольшей степени зависят от гранулометрического состава почвы, ее влажности, реакции, температуры и содержания гумуса.

Ингибиторы, подавляя нитрификацию азота удобрений, снижают его потери в газообразной форме, с поверхностным стоком воды и в результате вымывания нитратов. Это приводит к существенному повышению эффективности азотных удобрений и урожаев в условиях орошения или в районах повышенного увлажнения. Применение ингибиторов позволяет улучшить качество продукции, т. к. при этом предотвращается накопление токсических для человека и животных количеств нитратов в сельскохозяйственной продукции, снижается риск заболевания растений некоторыми болезнями, появляется возможность снизить нормы азотных удобрений вследствие повышения коэффициента использования азота. При этом возможна замена дробного внесения азотных удобрений одноразовым, что повышает экономическую эффективность их применения.

7.2.1.1.5. Аммиачные удобрения

Жидкий аммиак (NH_3). Самое концентрированное азотное удобрение. В нем содержится 82,3 % азота, остальная часть представлена водородом. Это удобрение представляет собой газ, сжиженный под давлением 1,6 МПа при температуре 40 °С. В смеси с воздухом или кислородом взрывоопасен, попадая на кожу, вызывает сильные ожоги. По внешним признакам это бесцветная жидкость. При вдыхании воздуха, содержащего аммиак в соотношении 1:10000, наступает смерть. На воздухе аммиак кипит и быстро испаряется. Хранят его в специальных, стальных цистернах. Получают сжижением газообразного аммиака. Аммиак при атмосферном давлении – летучий газ. Поэтому его необходимо заделывать в почву не менее 15 см в глубину с помощью инжекторов. Внесенный в почву безводный аммиак превращается из жидкости в газ, который адсорбируется коллоидной фракцией и поглощается почвенной влагой, образуя гидроксид аммония. Взаимодействуя с анионами почвенного раствора, аммоний образует различные соли и, вступая в физико-химическое взаимодействие с почвенными коллоидами, поглощается твердой частью почвы. Одновременно с физико-химическими превращениями аммиак подвергается нитрификации:





Скорость и степень поглощения аммиака почвой зависят от содержания в ней гумуса, гранулометрического состава и влажности, а также от способа и глубины заделки удобрения. Чем больше в почве содержится илистой фракции и гумуса, тем быстрее поглощаются ионы аммония. В первые дни после внесения жидкого аммиака, в результате образования гидроксила аммония, реакция почвы смещается в сторону подщелачивания. В зоне внесения удобрения (инъекций) высокая концентрация аммиака вызывает временную стерилизацию почвы, что, в частности, приостанавливает процесс нитрификации аммиачного азота. Однако, уже через 1–2 недели снова возобновляется жизнедеятельность микроорганизмов, чему способствует обилие азота в почве. Примерно половина аммиака превращается в нитраты при температуре 10 °С уже через 15–30 сут. Это способствует снижению рН, поэтому удобрение будет иметь физиологически кислую реакцию. Колебания рН положительно влияют на доступность растениями фосфатов и микроэлементов в почве. Внесение аммиака в корнеобитаемый слой почвы может привести к частичному разрушению корневых волосков и тканей корней. Его отрицательное действие проявляется до тех пор, пока он не превратится в аммоний. Длится это от нескольких часов до 10–15 сут, а затем начинает поглощаться корневой системой растений. Количество поглощенного аммония зависит от почвенно-климатических условий, поэтому жидкий аммиак желательно вносить до посева сельскохозяйственных культур. В песчаных и супесчаных почвах образование аммонийных солей из аммиака и адсорбция иона аммония происходят медленнее, чем в суглинистых почвах. В связи с этим на легких почвах удобрение продолжительное время сохраняется в виде NH_3 и может улетучиваться. Из влажной почвы аммиак улетучивается меньше, чем из сухой. Чтобы избежать потерь азота, безводный аммиак заделывают на глубину 12–14 см на дерново-подзолистых суглинистых и на глубину 16–18 см на супесчаных почвах. Для внесения используют специальные машины АБА-0,5М, АБА-1, АША-2 и другие в агрегате с культиватором КРН-4,2. Безводный аммиак можно вносить в качестве основного удобрения и в подкормку с обязательной заделкой его в почву.

Агрохимическая оценка аммиака практически равноценна, а в некоторых случаях выше эквивалентного количества азота, внесенного с твердыми азотными удобрениями. Главное преимущество жидкого аммиака перед другими формами азотных удобрений – более низкая стоимость единицы азота (на 40 % ниже) и возможность полной механизации от транспортировки до внесения в почву. Ценность этого удобрения снижается из-за более высоких затрат на технику, а также ограниченности применения.

Аммиак водный (аммиачная вода) – раствор аммиака в воде. Это бесцветная или желтоватая жидкость. Промышленность выпускает два сорта: 1-й сорт содержит $\geq 20,5$ % азота или 25 % NH_3 , температура замерзания -56 °С; 2-ой сорт содержит ≥ 18 % азота или 22 % NH_3 , температура замерзания -33 °С.

Аммиачная вода характеризуется невысокой упругостью паров аммиака (25 %-ный водный аммиак – 0,15 кг·с/см² при 40 °С), не разрушает черных металлов, замерзает только при очень низкой температуре. Поэтому ее можно хранить и перевозить в герметичных резервуарах из обычной углеродистой стали, рассчитанных на невысокое давление (0,03–0,05 МПа). В аммиачной воде

азот находится в форме свободного аммиака (NH_3) и аммония (NH_4OH). Константа равновесия между NH_3 и NH_4OH в водном растворе аммиака $[(\text{NH}_4^+ \cdot (\text{OH}^-)) : [\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}] = 10^{-5}$ показывает, что свободного аммиака в нем содержится значительно больше, чем аммония. Этим обусловлена возможность потерь азота во время перевозок, хранения и внесения удобрений вследствие улетучивания аммиака.

Аммиачную воду во избежание повреждения растений вносят на глубину не менее 8–10 см, на расстоянии 10–12 см от растений, т. к. это сильная щелочь. При внесении одинаковых норм азота по эффективности аммиак и аммиачная вода равны эффективности твердых азотных удобрений.

На тяжелых по гранулометрическому составу почвах аммиачную воду, как и безводный аммиак, можно вносить осенью в качестве основного удобрения практически под все культуры при температуре почвы ниже $+10^\circ\text{C}$, а также весной перед севом. На почвах легкого гранулометрического состава эти удобрения желательнее вносить весной.

При внесении аммиачной воды в почву аммиак адсорбируется коллоидами и поэтому слабо передвигается в ней. С течением времени аммиачный азот нитрифицируется и приобретает большую подвижность. Использование аммиачной воды в качестве удобрения технически проще и безопаснее по сравнению с жидким аммиаком, но крупным недостатком ее является низкое содержание азота, в результате чего увеличиваются затраты, связанные с транспортировкой, хранением и внесением удобрения в почву. Поэтому применение аммиачной воды целесообразно только в хозяйствах, расположенных вблизи предприятий, производящих это удобрение.

Аммиачную воду вносят специальными машинами (ПОУ) с приспособлением УЛП-8 для заделки в почву. Учитывая, что аммиак в почве перемещается на 10–12 см, для культур сплошного сева расстояние между сошниками при внесении аммиачных удобрений должно быть не более 20–25 см, а для пропашных культур должно равняться ширине одного междурядья. Наиболее эффективно внесение этих удобрений вместе с органическими. Нельзя вносить аммиачные удобрения на одном участке несколько лет подряд, т. к. они усиливают минерализацию органического вещества, что может привести к снижению содержания последнего в почве.

Углеаммиакат – аммиачно-водный раствор карбоната $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и $\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$, содержит 20–25 % NH_3 , 19–28 % $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 7–12 % CO_2 , не менее 29 % азота; температура кристаллизации – 10°C .

7.2.1.1.6. Карбамид-аммонийно-нитратные удобрения

Карбамид-аммонийно-нитратное удобрение (КАС). Представляет собой раствор (смесь) карбамида и аммиачной селитры, содержащих 28–32 % азота. Является одним из перспективных удобрений. Промышленность выпускает три формы: КАС-28, КАС-30 и КАС-32 в зависимости от содержания азота (соответственно 28, 30 и 32 %). Растворы КАС получают из плавленого карбамида и аммиачной селитры, производимых по традиционной технологии (себестоимость единицы азота в этом случае ниже, чем в твердых удобрениях, из-за исключения дорогостоящих и энергоемких операций доупаривания, гранулирования и конденсирования), а также по еще более экономичной интегральной схеме – путем получения плава карбамида упрощенным способом и нейтрализации непрореагировавшего аммиака азотной кислотой. В качестве противокоррозионного агента в КАС вводят небольшие количества фосфатов.

КАС имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, представляют собой прозрачные или желтоватые жидкости с плотностью 1,26–1,33 г/см³.

В отличие от жидких аммиачных удобрений, КАС практически не содержит свободного аммиака, его можно вносить с помощью высокопроизводительных агрегатов без одновременной заделки в почву, а также с поливной водой. КАС с ингибитором коррозии можно перевозить в обычных железнодорожных и автоцистернах; особенно выгодна транспортировка КАС по трубопроводам и водным транспортом. Низкая температура кристаллизации и замерзания (-2–18 °С) позволяет транспортировать и хранить КАС круглогодично, особенно в заглубленных в почву естественно утепленных хранилищах из бетона и асфальта с внутренним покрытием из пленки.

КАС можно использовать под все сельскохозяйственные культуры как в качестве основного удобрения, так и для подкормки. При основном удобрении возможны различные способы внесения: поверхностное сплошное и локальное (ленточное) с последующей заделкой в почву и внутрипочвенное локальное. При использовании КАС обеспечивается высокая точность дозирования и равномерность внесения по всей площади. Для транспортировки и внесения КАС можно использовать ту же технику, что и для жидких комплексных удобрений, аммиачной воды и гербицидов.

Хранить растворы КАС можно в течение 6 месяцев в металлических емкостях. Для предупреждения кристаллизации и коррозии металла в нее добавляют фосфат аммония или жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) марки (10:34:0) из расчета 0,2 % P₂O₅. Для поверхностного внесения КАС используют опрыскиватели ОПШ-15, ПОМ-630, ПОМ-2000, ПЖУ-9, а для локального внутрипочвенного – машины типа ПЖУ-2,5 и ПЖУ-5.

Особенно эффективно применение КАС для подкормки озимых и других зерновых культур. При проведении первой ранневесенней подкормки озимых КАС можно не разбавлять. При второй подкормке в фазу начала выхода в трубку при температуре 16–18 °С доза удобрения не должна превышать 20–30 кг/га и, во избежание ожогов растений, КАС целесообразно разбавлять водой в соотношении 1:2 или 1:3, особенно если в раствор удобрения добавляются гербициды. При приведении подкормок зерновых культур в фазу начала колошения растений концентрированные растворы КАС, особенно при добавлении в них фунгицидов, необходимо также разбавлять водой в соотношении 1:2 или 1:3 при дозе внесения не более 15–20 кг/га азота. В условиях интенсивных и энергосберегающих технологий возделывания культур важное значение приобретает возможность введения в КАС микроэлементов и пестицидов.

Таким образом, использование КАС в сельском хозяйстве имеет несомненные преимущества перед твердыми удобрениями: обеспечивается полная механизация всех погрузочно-разгрузочных работ, резко уменьшаются потери, снижаются затраты на производство и применение, улучшаются условия труда, исключается слеживаемость удобрений, обеспечивается высокая равномерность внесения азота, упрощается приготовление необходимых тукосмесей, в том числе с добавкой микроэлементов и пестицидов.

Аммиакаты. Представляют собой жидкости светло-желтого или желтого цвета, содержащие от 30 до 50 % азота. Азот в этом удобрении представлен свободным аммиаком и в большей степени аммиачной и кальциевой селитрой, мочевиной.

Получают аммиакаты в заводских условиях путем введения в аммиачную воду растворов аммонийной селитры, мочевины или смеси удобрений. В зависимости от состава упругость паров аммиака в аммиакатах составляет при тем-

пературе 32 °С от 2,0 до 3,6 атм. По степени упругости паров они разделяются на две группы: с умеренной упругостью паров (0,2–0,7 атм.) содержат 35–40 % азота и с повышенной упругостью паров (0,7–3,6 атм.) – 40–50 % азота. Аммиакаты заметно различаются по температуре начала кристаллизации (от 14 до 70 °С), поэтому зимой на период хранения необходимо выпускать аммиакаты с низкой, а летом – с более высокой температурой кристаллизации.

Аммиакаты вызывают коррозию сплавов меди и черных металлов, поэтому емкости и оборудование для их хранения и применения изготавливают из специальных легированных сталей, алюминия и его сплавов или применяют обычные стальные цистерны с защитным антикоррозийным покрытием. Азот в аммиакатах представлен на 20–40 % аммиаком и на 60–80 % азотом аммонийной селитры или мочевины.

При внесении аммиакатов в почву соблюдают необходимую глубину их заделки. Следует учитывать, что в почве диффузия аммиака, как правило, не превышает 8–10 см, поэтому расстояние между сошниками при внесении аммиакатов не должно быть более 20–25 см. При использовании аммиакатов для подкормки пропашных культур расстояние между сошниками устанавливают по ширине междурядий.

По действию на урожай сельскохозяйственных культур аммиакаты (в сопоставимых нормах) равноценны твердым азотным удобрениям.

7.2.1.2. Фосфорные удобрения

Исходным сырьем для производства фосфорных удобрений служат природные залежи фосфорных руд – апатиты и фосфориты. *Апатит* – бесцветный, чаще зеленоватый или желто-зеленый фосфорсодержащий минерал с кристаллами в виде шестигранной призмы, отличающийся высокой прочностью. Название происходит от греческого слова "apate" – обманываю, т. к. его часто принимали за другие минералы. Происхождение магматическое, гидротермальное, пневматолитовое. Различают следующие разновидности апатитов: 1) фторапатит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$; 2) хлорапатит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{Cl}$; 3) гидроксилapatит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{OH})$; 4) оксиapatит $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6\text{O}$. Наиболее распространен фторапатит. Теоретически в нем содержится 42,24 % P_2O_5 и 55,51 % CaO ; часть кальция может быть изоморфно замещена стронцием и двухвалентным марганцем. В апатитах содержатся также редкоземельные элементы цериевой группы. Химическое или термическое удаление фтора приводит к разрушению его кристаллической решетки. Товарная апатитная руда из-за примесей других минералов содержит всего лишь около 30 % фосфора. Обогащенный путем флотации и освобожденный от нефелина апатитовый концентрат содержит его около 40 %. Это лучшее в мире сырье для производства водорастворимых фосфорных удобрений.

Самое крупное месторождение апатитов находится в России в горных отрогах Хибинских гор Кольского полуострова. Хибинские апатиты залегают в виде апатитово-нефелиновой породы и их запасы составляют около 640 млн. т P_2O_5 . Залежи апатитовых руд имеются и в Бурятии (Ощурковское месторождение). За рубежом крупные скопления апатитов известны в железнорудных месторождениях Швеции (Кирунавара, Луоссавара) и в карбонатах Центральной и Восточной Африки. Залежи апатитов имеются также в Норвегии, Испании, Канаде и в Южной Африке, но промышленное значение их небольшое.

Фосфориты – это аморфный минеральный агрегат, представляющий собой смесь апатита с кальцитом, гипсом и другими минералами. Образовался

он при химическом осаждении в морях или биогенным путем в результате разложения остатков фосфорсодержащих организмов. Название минерала указывает на содержание в нем фосфора.

По характеру залежей фосфориты делят на *желваковые* (конкреционные), в виде окатанных камней; *зернистые* (платформенные) и *пластовые* (геосинклинальные).

Зернистые фосфориты – карбонатная или терригенная осадочная порода с многочисленными фосфатными стяжениями и органическими остатками (фосфатизированные обломки ихтиофауны, рептилий, моллюсков и фораминифер), сцементированными карбонатным, кремнистым и глинистым материалом. Такие фосфориты содержат 22–30 % P_2O_5 .

Пластовые фосфориты представляют собой плотную однородную породу с раковистым изломом, сложенную округлыми фосфатными зернами и оолитами с фосфатным, карбонатным или кремнистым цементом, которые содержат 28–36 % P_2O_5 .

Фосфориты отличаются от апатитов большей пористостью частиц; они бывают как аморфными, так и мелкокристаллическими. Чем старше по геологическому возрасту фосфориты, тем сильнее в них выражено кристаллическое строение вещества, и наоборот – чем моложе фосфорит, тем оно менее выражено. Фосфорная кислота в фосфоритах представлена соединениями типа фторапатита и гидроксилapatита.

В России месторождения фосфоритов были открыты в конце XVIII в., но разрабатывать их стали со 2-й половины XIX в. Изучение отечественных месторождений фосфоритов и возможности их применения начато А.Н. Энгельгартом в 60-х гг. XIX в., в 80-е гг. им открыты залежи фосфоритов в Смоленской губернии, проведены полевые опыты в имении Батищево, получена первая партия фосфоритной муки и доказана эффективность ее на дерново-подзолистых почвах.

Залежи фосфоритов в России велики, наиболее важное значение имеют Вятско-Камское, Егорьевское, Сещинское и Щигровское месторождения.

Вятско-Камское месторождение находится на северо-востоке Европейской части страны. Фосфориты здесь желвакового типа. Отмытый от породы фосфорит содержит 24–26 % P_2O_5 и около 5 % полуторных окислов.

Егорьевское месторождение находится в Московской области. Залежи фосфоритов здесь представлены двумя горизонтами, разделенными слоем рыхлого глауконитового песка: верхний – рязанский и нижний – портландский. Качество фосфорита портландского слоя выше рязанского: в нем содержится 25–26 % P_2O_5 и 4–5 % полуторных окислов. Фосфорит рязанского слоя содержит 21–23 % P_2O_5 и 10–12 % полуторных окислов.

Сещинское месторождение находится в Дубровском районе Брянской области. Фосфориты здесь представляют собой три слоя песчаных конкреций, иногда сцементированных в плиту. Промышленное значение имеют верхний и средний слои. Верхний слой содержит 14 % P_2O_5 и имеет мощность 0,5 м, средний – соответственно 16 % P_2O_5 и 0,53 м. Между этими слоями располагается прослойка глауконитового песка мощностью около 1 м.

Щигровское месторождение находится в Курской области. Это месторождение относится к песчаным фосфоритам. Желваки фосфоритов разной величины и формы сцементированы здесь с песчаной породой в сплошную плиту. Подобного рода фосфориты встречаются и в Воронежской, Тамбовской, Орловской, Брянской, Калужской и Смоленской областях. Они содержат

жат 14–19 % P_2O_5 , непригодны для химической переработки и используются в виде фосфоритной муки.

Общий недостаток фосфоритов, имеющих в нашей стране – низкое содержание фосфора и высокое полуторных окислов. Наличие полуторных окислов затрудняет их переработку на суперфосфат, приводит к дополнительному расходу кислоты, а также к ретроградации растворимых солей фосфорной кислоты. Например, для разложения апатитового концентрата при получении 1 т усвояемой P_2O_5 в суперфосфате используют 1,885 т серной кислоты, а для фосфоритов – 2,5 т в связи с необходимостью разложения в них примесей.

По степени растворимости и доступности для растений все фосфорные удобрения могут быть разделены на три группы: 1) растворимые в воде и легкодоступные для растений; 2) не растворимые в воде, но цитратно-лимоннорастворимые и поэтому также доступные растениям; 3) не растворимые в воде, плохо – в слабых кислотах, растворимые в сильных минеральных кислотах. Это более труднодоступные источники фосфора для растений.

Фосфор этих удобрений лишь постепенно переходит в усвояемую для растений форму под воздействием кислотности почвы, корневых выделений растений, совместного применения физиологически кислых минеральных удобрений.

Степень растворимости фосфорных удобрений определяет особенности их использования. Водорастворимые удобрения применяют в виде порошков и гранул, лимонно- и цитратнорастворимые – в виде порошков, труднорастворимые – в виде порошка "тонкого помола". Водорастворимые фосфаты составляют около $\frac{3}{4}$ общего производства фосфорных удобрений, а труднорастворимые – около 8 %. Поскольку большинство почв нашей страны имеют реакцию, близкую к нейтральной, то наиболее эффективны удобрения с водорастворимыми формами фосфорных соединений. В мире наиболее широко применяется эта группа удобрений. Технология переработки фосфатного сырья направлена на перевод фосфора в усвояемую для растений форму. Фосфорные удобрения, содержащие более 25 % P_2O_5 , относятся к концентрированным.

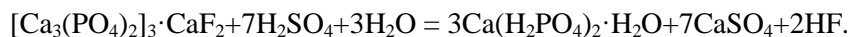
7.2.1.2.1. Водорастворимые фосфорные удобрения

Суперфосфат простой ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2CaSO_4$) с примесью свободной H_3PO_4 . На его долю приходится около половины мирового производства фосфорных удобрений. Суперфосфат простой содержит 14–20 % P_2O_5 . Большая часть фосфора (88–98 %) в нем находится в усвояемых растениями соединениях: водорастворимых – монокальцийфосфат и фосфорная кислота (на их долю приходится 75–90 % усвояемого фосфора) и цитраторастворимых – дикальцийфосфат (на его долю приходится 10–25 % усвояемого фосфора).

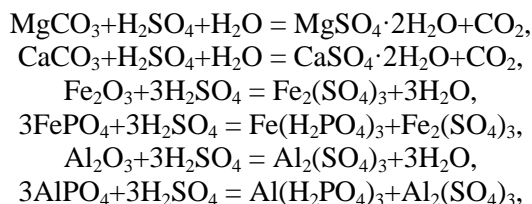
Суперфосфат можно применять на всех типах почв, под все культуры, самыми различными способами. Это удобрение отличается довольно низкой концентрацией питательного элемента. Промышленность выпускает порошковидный и гранулированный суперфосфат. Принцип получения суперфосфата впервые был предложен немецким химиком Ю. Либихом. Первый завод по его производству был построен в Англии в 1843 г. Д.Б. Лоозом, основателем Ротамстедской сельскохозяйственной опытной станции.

Сущность производства суперфосфата состоит в том, что нерастворимая в воде нейтральная кальциевая соль ортофосфорной кислоты $Ca_3(PO_4)_2$, содержащаяся в природных фосфатах в виде минерала фторапатита $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$, превращается в растворимые кислые соли, преимущественно

в $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и частично в свободную фосфорную кислоту и дикальцийфосфат CaHPO_4 . Суммарная реакция разложения фторапатита серной кислотой:

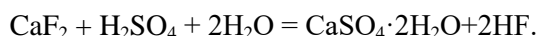


Одновременно серная кислота разлагает карбонат магния и карбонат кальция, соединения алюминия и железа, входящие в состав фосфорита:

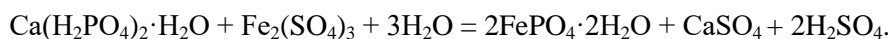


Присутствие небольшого количества CaCO_3 (до 5 %) считается даже желательной примесью при производстве суперфосфата. Это объясняется тем, что образующийся гипс кристаллизуется с двумя молекулами воды и, отнимая воду из смеси, способствует затвердеванию продукта. Образующаяся при разложении CaCO_3 углекислота придает суперфосфату пористость, вследствие чего он получается более рыхлым и рассыпчатым.

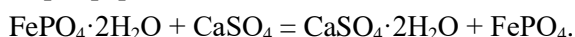
Суперфосфат из апатита получается светлее, чем из фосфорита, и менее пористый. Фторид кальция апатита разлагается частично серной кислотой с образованием фтористого водорода.



Фтористые газы в концентрации 0,005 % токсичны для человека и животных. Поэтому при производстве суперфосфата их приходится удалять поглощением водой, содой или поташом. Соединения железа и алюминия в фосфорите также нежелательны. При производстве суперфосфата на них затрачивается значительное количество серной кислоты. Соединения фосфорной кислоты с железом и алюминием в суперфосфате хотя и находятся в форме, усвояемой растениями, но эти соединения неустойчивы и при хранении суперфосфата сравнительно легко претерпевают изменения. Этот процесс изменения фосфатов железа и алюминия называется ретроградацией фосфорной кислоты, поскольку фосфорная кислота при этом переходит в труднорастворимые соединения железа и алюминия:



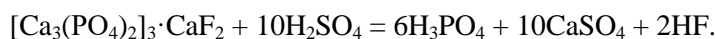
Гипс отнимает воду у фосфата железа, и последний переходит в труднорастворимую соль фосфорной кислоты:



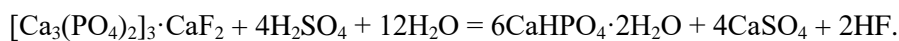
Некоторый избыток серной кислоты в суперфосфате хотя и подкисляет удобрения, но зато несколько задерживает этот процесс. Повышение температуры и давления может несколько усилить процесс ретроградации.

Считается, что при хранении на складе на каждый процент содержания в суперфосфате полуторных окислов железа и алюминия можно ожидать понижения содержания воднорастворимой P_2O_5 примерно на 0,65 %. В апатите (после флотации) полуторных окислов содержится не более 2,5 %, т. е. значительно меньше, чем в фосфорите.

Вследствие неравномерности смешивания сырья с серной кислотой в местах, где накапливается некоторый ее избыток, фторапатит разлагается полностью с образованием фосфорной кислоты, сульфата кальция и фтористого водорода:



Поэтому в конечном продукте всегда присутствует 5,0–5,5 % свободной фосфорной кислоты. Она обуславливает повышенную кислотность суперфосфата и его гигроскопичность. В местах реагирующей массы, где получается недостаток серной кислоты, образуется двухзамещенный фосфат кальция – преципитат:



Для получения суперфосфата берут почти одинаковые количества фосфатного сырья и серной кислоты, но концентрация фосфора в суперфосфате почти в 2 раза меньше, чем в исходном сырье. По этой причине фосфориты с низким содержанием P_2O_5 малопригодны для переработки в суперфосфат. В России для получения этого удобрения применяют кольский апатитовый концентрат. Конечным продуктом производства является *порошковидный суперфосфат*. Это вещество темно-серого (из фосфорита) или светло-серого (из апатита) цвета, с характерным запахом фосфорной кислоты. Суперфосфат в виде порошка обладает неудовлетворительными физическими свойствами: он слеживается, образует комья, плохо высевается туковыми сеялками.

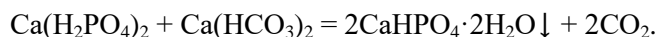
Способы производства суперфосфата можно разделить на периодические, полунепрерывные и непрерывные.

Периодический способ. По этому способу смешение фосфатной муки с серной кислотой и дальнейшее разложение фосфата ("вызревание" в камерах) производятся в периодически действующих аппаратах (смесители, камеры-вагоны Бескова).

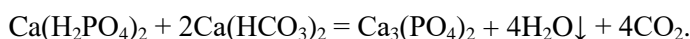
Полунепрерывный способ. В этом случае применяют непрерывное смешение фосфата с серной кислотой при периодическом "вызревании" суперфосфата в камерах-вагонах Бескова.

Непрерывный способ. Основные стадии производства осуществляются в аппаратах непрерывного действия. Установки, работающие по этому способу, наиболее совершенны, вследствие чего они вытесняют периодические и полунепрерывные установки.

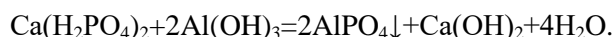
После внесения в почву дигидрофосфат сравнительно быстро превращается в гидрофосфат:



Эта реакция наблюдается на нейтральных почвах. При наличии карбонатов превращение частично идет дальше:



При таких условиях возможно появление в почве даже гидроксилapatита и фторapatита. Химическое поглощение суперфосфата на нейтральных почвах с образованием гидрофосфатов и фосфатов кальция обуславливает малую подвижность фосфора, внесенного в почву. В то же время свежесаженные фосфаты кальция характеризуются значительной растворимостью в слабых кислотах и доступностью растениям. В кислых, богатых полуторными окислами почвах могут образоваться нерастворимые и поэтому трудноусвояемые растениями фосфаты железа и алюминия:



На всех типах почв часть анионов фосфорной кислоты адсорбируется положительно заряженными коллоидными частицами (в обмен на другие анио-

ны, преимущественно HCO_3^-), и в этом состоянии они становятся доступными для растений. Почвенные микроорганизмы также связывают некоторое количество фосфатов, переводя их в состав протоплазмы клеток. Для уменьшения поглощения фосфатов из порошковидного суперфосфата на кислых почвах нежелательно смешивать его с очень большой массой почвы.

Суперфосфат рекомендуется перевозить насыпью или в водостойких мешках.

Для снижения процессов ретроградации (перевода водорастворимой формы в менее растворимую) суперфосфат гранулируют. **Гранулированный суперфосфат**, в отличие от порошковидного, не комкуется и не слеживается, обладает повышенным содержанием фосфора и пониженной влажностью; его можно вносить в почву с помощью зернотуковых сеялок. В результате медленного растворения гранул в почвенной влаге и значительного уменьшения площади контакта частиц удобрения и почвы существенно снижается химическое связывание водорастворимых соединений удобрения.

Для производства гранулированного суперфосфата никаких клеящих веществ не требуется. Готовый порошковидный продукт увлажняется, окатывается в барабанном грануляторе, гранулы высушиваются в сушильном барабане и сортируются на грохоте. При этом выделяются гранулы разной величины. Пригодными считаются те из них, которые имеют диаметр от 1 до 4 мм. Более крупные гранулы дробятся, а более мелкие составляют ретур, направляемый на повторное гранулирование с новой партией порошковидного продукта. Ретур играет роль центров образования новых гранул. В процессе грануляции свободная фосфорная кислота нейтрализуется и суперфосфат высушивается, поэтому количество фосфорной кислоты в нем снижается до 1–2,5 %, а влаги – до 1–4 %.

Суперфосфаты не вызывают постоянного подкисления почвы, так как фосфорная кислота используется растениями для питания, а на кислых почвах связывается оксидами железа и алюминия.

Гранулированный простой суперфосфат применяется для основного предпосевного, припосевного внесения и в подкормки под все культуры на всех типах почв. Однако наиболее эффективно его локальное внесение в рядки с высеваемыми семенами. Это наиболее рациональный способ использования гранулированного суперфосфата; хотя доза его при локальном внесении в 3 раза меньше, эффект от нее такой же, что и от порошковидного суперфосфата, равномерно распределенного по поверхности почвы перед вспашкой или культивацией почвы.

В простом суперфосфате в составе гипса содержится до 8–12 % серы, что особенно ценно для бобовых, зерновых и масличных культур в зонах с недостатком серы в почве. Для повышения эффективности суперфосфатов на кислых почвах рН почвенного раствора необходимо известкованием довести до слабощелочной или нейтральной реакции.

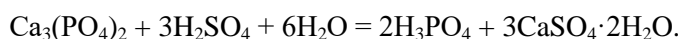
Двойной суперфосфат – концентрированное водорастворимое удобрение, получаемое разложением молотого природного фосфата фосфорной кислотой. По внешнему виду он похож на простой суперфосфат (гранулы светло-серого цвета), но содержит в 2–3 раза больше усвояемого фосфора. Основным компонентом двойного суперфосфата является моногидрат дигидрофосфат кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Двойной суперфосфат выпускается с относительно небольшим содержанием других компонентов, присутствие которых обусловлено примесями фосфорной кислоты и природного фосфата: сульфат кальция CaSO_4 , фосфаты железа и алюминия $(\text{Fe}, \text{Al})\text{PO}_4$, мономагнийфосфат $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, кремнефториды, а также непрореагировавший фосфат, дикальцийфосфат Ca_2HPO_4 , свободная фосфорная кислота и свободная влага. В зави-

симости от исходного сырья и способа получения содержит от 37 до 54 % усвояемого растениями фосфора. Марка А содержит 49 % усвояемой P_2O_5 ; марка Б: сорт I – 46 %, сорт II – 43 %. Фосфор присутствует в нем в виде монокальцийфосфата и свободной фосфорной кислоты (до 2,5 %).

По классификации Международной ассоциации производства суперфосфата и сложных удобрений (ИСМА), двойным суперфосфатом считается удобрение, содержащее 25 % P_2O_5 , тройным – 43–49 % P_2O_5 . Поэтому за рубежом удобрение такого состава называют *тройным суперфосфатом*.

Технология производства двойного суперфосфата включает две фазы. Вначале (1-я фаза) получают фосфорную кислоту. Для этого разработаны два способа.

При *экстрактивном способе* фосфорную кислоту получают путем обработки фосфорита 20–25 % раствором серной кислоты:

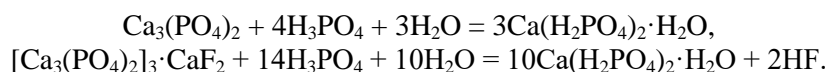


Затем фосфорную кислоту фильтрованием отделяют от гипса.

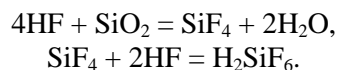
Более совершенный способ получения фосфорной кислоты – *возгонка* фосфора из низкопроцентных фосфоритов при температуре порядка 1400–1600 °С в электропечах или в доменных печах с коксом или антрацитом. Выделившийся элементный фосфор собирают под водой, потом сжигают в присутствии воздуха и образовавшуюся пятиокись фосфора соединяют с водой:



Затем (2-я фаза), полученной фосфорной кислотой обрабатывают высококонцентрированное фосфатное сырье:



Выделившийся HF взаимодействует с кремневой кислотой с образованием H_2SiF_6 и SiF_4 :

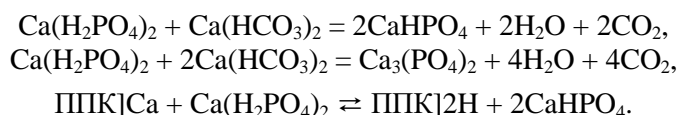


Кремнефторостоводородная кислота превращается в кремнефториды кальция, натрия и калия, а четырехфтористый кремний частично выделяется в газообразном состоянии.

Содержание фосфора в удобрении и состав примесей зависят от исходного фосфатного сырья, используемого во второй технологической фазе. Лучший двойной суперфосфат получают из апатита. Он содержит 45–49 % усвояемого растениями фосфора, не более 2,5 % свободной кислоты, не менее 85 % водорастворимой P_2O_5 .

Двойной гранулированный суперфосфат – исключительно ценное транспортабельное, экономически выгодное удобрение: по сравнению с простым суперфосфатом нормы его в 2 раза меньше, как при сплошном, так и при локальном внесении.

Двойной суперфосфат, как и простой, в процессе взаимодействия с почвой превращается в менее растворимые соединения, происходит его ретроградация. В почвах с нейтральной или слабощелочной реакцией (черноземы, карбонатные почвы), насыщенных основаниями (кальцием, магнием) и содержащих гидрокарбонат кальция $[Ca(HCO_3)_2]$, суперфосфат превращается в гидрофосфат ($CaHPO_4$) и фосфат кальция $[Ca_3(PO_4)_2]$:

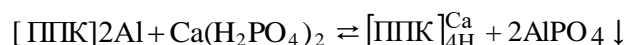


Гидрофосфат кальция доступен для растений, фосфат менее доступен, но постепенно может быть использован растениями.

Несколько иное превращение претерпевает суперфосфат в дерново-подзолистых кислых почвах, богатых подвижными формами железа и алюминия. Здесь могут образовываться труднорастворимые и малодоступные для растений фосфаты железа и алюминия:



Фосфат алюминия образуется также при взаимодействии с обменным алюминием:



Химическое поглощение суперфосфата почвой – отрицательное явление, т. к. приводит к снижению его доступности. Ослабить силу химического связывания фосфора можно различными приемами: гранулированием суперфосфата в процессе его производства; локальным внесением вблизи растения; применением порошковидного суперфосфата в смеси с небольшим количеством перегноя, торфа и других органических добавок.

По своему действию на продуктивность растений двойной и простой суперфосфат близки между собой. Двойной суперфосфат, не имеющий в своем составе гипса, предпочтительнее вносить под чайный куст и другие кальциефобные растения, а простой суперфосфат, со значительным количеством гипса, полезнее для растений с повышенной потребностью в сере. При однократном внесении локально эти удобрения равноценны. При систематическом применении простого и двойного суперфосфата на одном месте могут быть различия вследствие разного содержания в них кальция и серы.

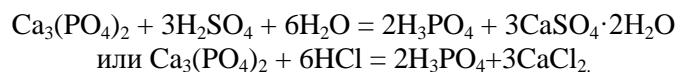
Обогащенный суперфосфат. Получается из апатитового концентрата путем обработки серной кислотой и небольшим количеством неупаренной экстракционной фосфорной кислоты. Выпускается в порошкообразном и гранулированном виде. Обогащенный порошкообразный суперфосфат содержит не менее 23,5 % усвояемого растениями фосфора, не более 5 % свободной фосфорной кислоты; гранулированный – соответственно 24,5 и 1–2,5 %. Содержание гипса в обогащенном суперфосфате меньше, чем в простом. Применяется так же, как и простой суперфосфат.

Суперфос. Содержит 36 % P_2O_5 (60 % в водорастворимой форме и 40 % – в труднодоступной) в виде ди- и трикальцийфосфата. По внешнему виду это угловатые темно-серые гранулы. Получают это удобрение путем химического обогащения и активирования фосфоритной муки смесью серной и фосфорной кислот. Для производства 1 т P_2O_5 в суперфосе используется 1–1,3 т H_2SO_4 и 0,36 т H_3PO_4 . Суперфос выпускают в гранулированном виде. Он применяется в качестве основного удобрения на кислых и нейтральных почвах. По агрономической эффективности суперфос не уступает суперфосфатам.

7.2.1.2.2. Цитратно- и лимоннорастворимые фосфорные удобрения

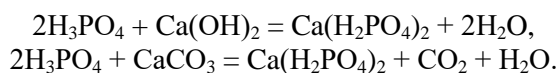
Преципитат $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – гидрофосфат кальция. В зависимости от исходного сырья он содержит от 25 до 35 % цитратнорастворимого доступного растениям фосфора. Плотность его $0,8 \text{ т/м}^3$. Тонкий, белый порошок, пылящий при внесении. Обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается, сохраняет хорошую рассеиваемость, может смешиваться с любым удобрением.

Первая операция при получении преципитата, как и при получении двойного суперфосфата, заключается в извлечении фосфорной кислоты из тонко-размолотого фосфорита. Извлечение фосфорной кислоты может быть осуществлено как серной, так и соляной кислотой:

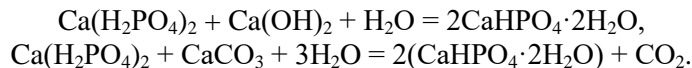


При извлечении фосфорной кислоты серной необходимо брать хорошо размолотый фосфорит, иначе образующийся на поверхности крупных кусочков фосфорита гипс будет мешать проникновению кислоты вглубь, и взаимодействие получится неполное. При извлечении фосфорной кислоты соляной степень измельчения не имеет большого значения, т. к. образующийся хлористый кальций хорошо растворим в воде. Образующаяся фосфорная кислота при извлечении серной кислотой очищается фильтрованием от нерастворенных частиц кремнезема, глины и гипса.

Вторая операция в производстве преципитата – осаждение фосфорной кислоты известковым молоком (суспензия гидрата оксида кальция) или карбонатом кальция (суспензия мела). Вначале образуется дигидрофосфат кальция:

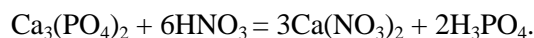


Дигидрофосфат кальция, реагируя с новыми порциями известкового материала, образует гидрофосфат кальция:



Производство преципитата возникло при добыче желатина из костей. Кости при этом растворяются в серной или соляной кислоте до дигидрофосфата кальция, а затем переводится известковым молоком в преципитат. Преципитат из костей отличается чистотой. В преципитате, полученном из фосфорита, кроме $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, есть еще небольшие количества примеси $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и AlPO_4 .

Д.Н. Прянишниковым был предложен способ получения преципитата одновременно с кальциевой селитрой, разложением фосфоритов азотной кислотой:



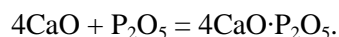
На раствор, содержащий кальциевую селитру и фосфорную кислоту, действуют известковым молоком, в результате чего фосфорная кислота осаждается в виде преципитата. В растворе остается кальциевая селитра, которая при выпаривании раствора выпадает в осадок.

Преципитат можно применять как основное удобрение под различные культуры на всех почвах. На кислых почвах по действию на урожай он может даже превосходить суперфосфат, потому что последний в таких условиях подвержен ретроградации и превращается в фосфаты полуторных окислов в большей степени, чем преципитат. На черноземах преципитат по эффективности близок к суперфосфату.

Фосфатшлак мартеновский ($4\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{CaSiO}_3$) – размолотый побочный продукт переработки на сталь и железо богатых фосфором чугунов мартеновским методом. Фосфор содержится в нем преимущественно в виде силикофосфатов. Содержит от 8 до 12 % P_2O_5 . Почти весь фосфор находится в цитратнорастворимой форме.

Это тяжелый порошок темного цвета с $\text{pH} = 8\text{--}9$. Содержит до 30 % оксида кальция, 9 – оксида магния и около 10 % оксида марганца, а также различные соединения железа, кремния и микроэлементы: молибден, медь, кобальт. Фосфатшлак мартеновский может быть использован и как микроудобрение. Из-за низкого содержания питательного вещества это удобрение применяют вблизи от места получения; он более подходит для кислых и слабокислых почв. Фосфатшлак мартеновский используют только в качестве основного удобрения. На него хорошо отзывается сахарная свекла. Для подкормки и для локального внесения он не рекомендуется.

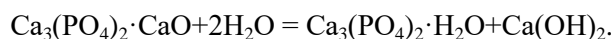
Томасшлак ($4\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5+4\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{CaSiO}_3$) – размолотый побочный продукт, получаемый при переработке на железо и сталь богатых фосфором чугунов щелочным методом. Способ впервые был предложен английским инженером Томасом в 1879 г. Сущность процесса состоит в следующем. В конверторы, где плавится металл, добавляют обожженный известняк, с которым образовавшийся при плавке фосфорный ангидрид вступает в реакцию с образованием тетракальциевого фосфата:



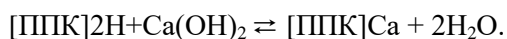
Шлак при этом всплывает. После отделения и охлаждения его размалывают; содержит 14–20 % P_2O_5 .

Томасшлак – тяжелый тонкий порошок темно-серого или черного цвета с хорошими физическими свойствами: сыпучестью, неслеживаемостью при хранении. Фосфор в нем находится в основном в виде тетракальциевого фосфата ($\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$), а также двойной соли тетракальциевого фосфата и кремнекислого кальция. Эти соединения растворимы в лимонной кислоте. Состав томасшлака подвержен большим колебаниям, содержание в нем фосфора, растворимого в лимонной кислоте, колеблется в пределах от 7–8 до 16–20 %. Фосфор доступен для растений. Согласно стандарту, содержание P_2O_5 , растворимого в лимонной кислоте, должно быть не ниже 14 %. Водорастворимого P_2O_5 томасшлак не содержит. В виде примесей в нем содержатся свободная окись кальция, а также окиси магния, железа, алюминия, марганца, кремния. Качество удобрения оценивается по содержанию в нем фосфора, растворимого в 2 %-ной лимонной кислоте. Удобрение должно проходить через сито с отверстиями диаметром 2 мм, остаток на сите с отверстиями диаметром 0,175 мм не должен превышать 15 %. Плотность – 2,0 т/м³.

Томасшлак – щелочное удобрение. Содержит около 10–12 % оксида кальция, поэтому его нельзя смешивать с аммиачными солями. Это удобрение следует применять для внесения под основную обработку или предпосевную культивацию на всех почвах, где томасшлак разлагается на фосфат кальция и гидроксид кальция:



Свежеобразованный фосфат кальция доступен для растений. Образовавшийся гидроксид кальция вступает во взаимодействие с почвой, снижая ее кислотность:



Аналогичная реакция происходит и с оксидом кальция, содержащимся в томасшлаке в качестве примеси.

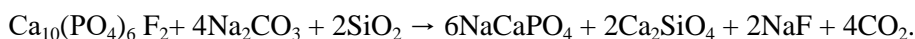
Томасшлак – наиболее универсальное фосфорное удобрение, т. к. его применение возможно на всех почвах. На черноземах он по эффективности несколько уступает суперфосфату, но зато оказывает заметное последствие. На кислых подзолистых почвах, и особенно на кислых торфянистых почвах, томасшлак обладает явным преимуществом перед суперфосфатом, т. к. при его внесении образуется $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который в некоторой степени устраняет кислотность почвенного раствора и уменьшает количество ионов водорода, находящегося в поглощенном состоянии. На легких песчаных почвах с небольшой емкостью обмена и, следовательно, с небольшим абсолютным количеством поглощенного водорода применение томасшлака может в значительной степени устранить кислотность почвы.

Обесфторенный фосфат [$\alpha\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{CaSiO}_3$]. Получают его при геотермической обработке смеси апатита или фосфорита с небольшим количеством кремнезема (2–3 % SiO_2) при температуре порядка 1450–1550 °С. При такой температуре разрушается кристаллическая решетка фторапатита и удаляется фтор в газообразной форме, а фосфор переходит в усвояемую растениями форму. Суммарная реакция гидротермического разложения апатита в присутствии кремнезема может быть представлена так:



В полученном продукте в зависимости от исходного сырья содержится от 30–32 % (из апатита) до 20–22 % (из фосфорита) цитратнорастворимой P_2O_5 . По внешнему виду удобрение представляет собой светло-серый тонкоразмолотый порошок. Обесфторенный фосфат обладает хорошими физическими свойствами: негигроскопичен, не слеживается, легко рассеивается. Является ценным удобрением при основном внесении, особенно на кислых почвах. В подкормку не используется. Обесфторенный фосфат, так же как и томасшлак, нельзя смешивать с аммонийными удобрениями.

Термофосфат ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + \text{SiO}_2$). Получается сплавлением или спеканием размолотого фосфата со щелочными солями – содой, поташем, или природными калиевыми силикатами, а также с сульфатами калия и натрия. При этом образуются усвояемые растениями кальциево-натриевые или кальциево-калиевые фосфаты ($\text{CaNaPO}_4 + \text{Ca}_2\text{SiO}_4$ или $\text{CaKPO}_4 + \text{CaSiO}_4$):



Термофосфаты содержат 20–34 % P_2O_5 , растворимого в лимонной кислоте или цитратном растворе, около 30 % кальция, который частично действует как основание, а также содержат небольшие количества микроэлементов. Легко расплывается и слеживается, поэтому это удобрение трудно вносить в почву. Лучше использовать его для приготовления сложных удобрений, в частности, фосфорно-калийных. Очень эффективное удобрение при основном внесении на кислых почвах. При гидролизе натрий-кальцийфосфата в почве образуются гидроксиды кальция и натрия, а анионы фосфорной кислоты поглощаются корнями растений. При наличии ионов кальция и натрия снижается кислотность почвы и предотвращается образование фосфатов железа и алюминия. На поверхности глинистых минералов, а также оксидов железа и алюминия адсорбируется кремниевая кислота, которая ослабляет фиксацию почвой фосфат-ионов.

Плавленый фосфат магния [$\alpha\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{MgSiO}_3$]. Относится так же, как и шлаки, к термофосфатам. Получается плавлением природных фосфатов с магниесодержащими соединениями (силикаты магния – оливинит, серпентинит) при температуре порядка 1350–1400 °С с последующим быстрым охлаждением плава водой. Состоит из стекловидных прозрачных гранул разной формы и величины. Цвет гранул изменяется в зависимости от исходного сырья от ярко-зеленого до почти черного. Содержит 19–21 % P_2O_5 , растворимого в лимонной кислоте, и 8–14 % MgO . Плотность 1,7 т/м³. Удобрение обладает хорошими физическими свойствами: не гигроскопично, не слеживается, не содержит свободной кислоты. Эффективность его зависит от размера частиц. При внесении удобрения на дерново-подзолистых суглинистых почвах размер частиц имеет меньшее значение, чем при использовании его на типичных сероземах. Большая часть плавленого фосфата магния (60 %) должна проходить через сито с отверстиями диаметром 0,074 мм, а остальная масса – через сито с отверстиями 0,147 мм.

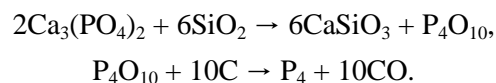
Тонкоразмолотый плавленый магниевый фосфат – высокоэффективное удобрение на всех типах почвы, и его действие при основном внесении не уступает действию суперфосфата и томасшлака. На кислых легких почвах, нуждающихся в магниевых удобрениях, плавленый фосфат магния – не только фосфорное, но и магниевое удобрение, в некоторой степени нейтрализующее почвенную кислотность.

Красный фосфор ($\text{P}_\text{к}$) – одна из аллотропных модификаций фосфора. Это собирательный термин, используемый для описания множества различных частично кристаллических форм, каждая из которых окрашена в красный цвет различной интенсивности. Их плотность находится в пределах 2–2,4 г/см³, температура плавления – в интервале 585–610 °С. Красный фосфор плохо растворим в воде, не токсичен. Он ведет себя как высокополимер. Красный фосфор непосредственно реагирует с кислородом, серой, галогенами, металлами, но не реагирует с водными щелочами.

Технология производства красного фосфора включает две фазы. Вначале (1-я фаза) получают белый фосфор. Промышленный способ получения белого фосфора заключается в нагревании смеси фосфорных пород, кремнезема и кокса в электрической печи. Восстановление до элементарного фосфора происходит при температуре 1400–1500 °С с помощью угольных электродов. Суммарная реакция представляется уравнением:



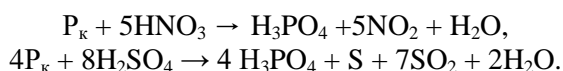
Несмотря на теплоту, выделяющуюся при сгорании кокса, реакция сильно эндотермична и требует расхода электроэнергии примерно 1200 кВт·ч на тонну производимого фосфора. Наиболее вероятным ходом реакции считается механизм "кислотного замещения":



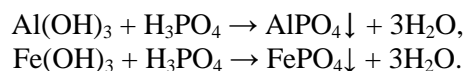
Затем (2-я фаза) получают красный фосфор нагреванием белого фосфора при температуре 260 °С. Промышленный красный фосфор, получаемый при нагревании белого фосфора в закрытых сосудах при температуре около 350 °С, в основном аморфный. Он имеет раковистый излом и может быть окрашен от бледного желтовато-красного до темного фиолетово-красного.

Красный фосфор ($\text{P}_\text{к}$) – самое концентрированное и перспективное фосфорное удобрение, содержащее 229 % P_2O_5 . Его применяют с добавками сернокислой меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (в качестве катализатора) из расчета 1 % меди от

массы фосфора. Красный фосфор может быть использован для повышения содержания фосфора в других удобрениях. Он не ядовит. Его можно вносить в почву в запас на ряд лет. При внесении в почву красный фосфор очень медленно окисляется в ортофосфорную кислоту. Окисление происходит более энергично под воздействием азотной и серной кислот.



В почвах с кислой и слабокислой реакцией основными компонентами химического связывания фосфат-ионов являются подвижные полуторные оксиды:



На дерново-подзолистой почве, спустя уже три недели после заделки, 20 % красного фосфора переходят в соединения, доступные растениям из семейства злаков. По эффективности он не уступает суперфосфату, а в последствии превосходит его. Из общего количества внесенного в почву красного фосфора за сезон растения усваивают 15–17 %; остальное количество его остается в почве в виде запаса и используется растениями в последующие годы. Коэффициент использования красного фосфора растениями в целом достигает 75–85 %. Кислотность не влияет на доступность красного фосфора растениям.

Грануляция красного фосфора не снижает его эффективности. При наличии в почве растворимых фосфатов P_k усваивается растениями. Эффективность последствия гранулированных смесей красного фосфора с различными суперфосфатами выше, чем одного суперфосфата, т. е. в смеси проявляется последствие красного фосфора, находящегося в одной грануле с суперфосфатом.

Красный фосфор пригоден также в качестве компонента гранулированной смеси двойных (с мочевиной или сульфатом аммония) и тройных (с мочевиной и хлористым калием) удобрений. Соотношение элементов в смесях рассчитывается в соответствии со способом их применения: фосфор – в запас на 4–5 лет; калий – в годовой норме или в запас на несколько лет; азот – в объеме годовой нормы. В этих смесях содержание элементов питания составляет около 50 %. Они характеризуются длительным последствием. Изменяя в смеси соотношение растворимых фосфатов и красного фосфора, можно устранить нежелательное избыточное поступление фосфора в растения. Таким образом, использование красного фосфора на удобрение перспективно.

Полифосфат кальция. Перспективное фосфорное удобрение, содержащее 40–60 % P_2O_5 . В зависимости от температур, при которых получают полифосфаты кальция, они подразделяются на *плавленные* и *низкотемпературные*.

В последнее время большое внимание уделяется кислотнo-термическому способу получения полифосфатов кальция. Плавление фосфорита проводится при температуре порядка 1100–1200 °С после взаимодействия его с фосфорной кислотой. Удобрение содержит 55–58 % цитратнорастворимого фосфора. Добавление к продукту на стадии грануляции водорастворимых ортофосфатов обеспечивает необходимое содержание водорастворимого фосфора в удобрении.

Разработан низкотемпературный способ получения полифосфатов кальция с достаточно высоким содержанием P_2O_5 (40–60 %).

Конденсированные фосфаты, входящие в состав полифосфата кальция, в почве гидролизуются до ортофосфатов и таким образом становятся доступными для растений.

Метафосфат кальция $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ – порошковидное концентрированное фосфорное удобрение, пригодное для применения на большинстве почв. В техническом продукте содержится 63–68 % P_2O_5 , растворимой в цитратном растворе. В химически чистом удобрении содержится 71,68 % P_2O_5 и 28,32 % CaO . Эффективность метафосфата кальция зависит от количества в нем водорастворимой и цитратнорастворимой P_2O_5 . Лучше усваивается растениями удобрение, в котором преобладающая часть фосфора находится в водорастворимой форме.

Фоспаль – одностороннее фосфорное удобрение. Его получают термической обработкой при 550–600 °С алюминиево-кальциевых фосфатов Сенегала с последующим измельчением до тонкого порошка. Руда Сенегальского месторождения содержит двойной фосфат кальция и алюминия. В ее состав, кроме фосфора (P_2O_5 – 29,5 %), входит значительное количество карбонатов кальция, оксида железа, цинка, меди, бора и гидроксида алюминия. Фосфор в основном входит в состав крандаллита: $(\text{PO}_4)_2\text{Al}_3\text{Ca}(\text{OH})_5$. При обжиге плотные кристаллы руды диссоциируют с образованием новой структуры, которая обладает повышенной растворимостью при взаимодействии с почвой. Фоспаль имеет красновато-охровый оттенок, образующийся в результате вытеснения железа из фосфатного соединения в виде свободного оксида этого металла при обжиге руды. При термической обработке в результате удаления химически связанной воды (первоначальное содержание ее 15,5 %) повышается концентрация P_2O_5 до 32–34 %. После обжига фоспаль имеет следующий состав: общая P_2O_5 составляет 32–34 %, растворимая в реактиве Жюли-27, Al_2O_3 – 34, CaO – 10,4, Fe_2O_3 – 11,5, SiO_2 – 2,9, TiO_2 – 1,7, MgO – 3 %, Zn – 400 мг/кг, Mo – 10, Mn – 150, B – 250, Co – 60 мг/кг.

В водной суспензии фоспаль не изменяет кислотность, что дает возможность смешивать его с азотными и калийными удобрениями без химического взаимодействия. Фоспаль не слеживается, не гигроскопичен, что позволяет равномерно вносить его в почву при любых погодных условиях. Недостаток этого удобрения – пыление в измельченном состоянии, что затрудняет его применение в ветреную погоду. На основе фоспаля производят две формы комплексного удобрения – РК- и NP-удобрения, смешивая его с KCl или $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ с последующей грануляцией продукта методом прессования.

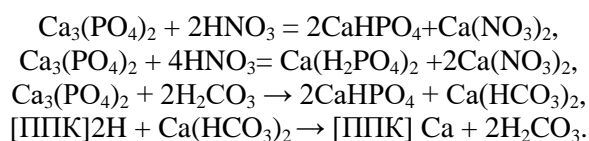
7.2.1.2.3. Труднорастворимые фосфорные удобрения

Фосфоритная мука – тонкий, тяжелый порошок темно-серого (землистого) цвета разных оттенков. Насыпная плотность 1,4–1,8 т/м³. Фосфоритную муку получают размолотом фосфорита. Она выпускается четырех марок: А, Б, В и Г, содержащие соответственно не менее 29, 26, 23 и 20 % P_2O_5 . Диаметр частиц удобрения не более 0,18 мм. Остаток на сите с отверстиями 0,18 мм не должен превышать 10 % массы фосфоритной муки. Фосфоритная мука не гигроскопична, не слеживается, может смешиваться с любым удобрением, кроме извести. Ее влажность не должна превышать 3,7 %; при более высоком содержании воды фосфоритная мука теряет свою сыпучесть.

Фосфор в фосфоритной муке содержится в виде соединений фторапатита, гидроксилапатита, карбонатапатита, т. е. находится в основном в форме фосфата кальция – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Эти соединения не растворимы в воде, слабых кислотах и слабодоступны для большинства растений.

На эффективность фосфоритной муки оказывают влияние происхождение и состав фосфоритов, тонина помола, биологические особенности удобряемой культуры, свойства почвы и кислотность сопутствующих удобрений.

Главным среди названных факторов является уровень кислотности почвы. Суть процесса взаимодействия фосфоритной муки с почвой, обладающей определенной актуальной и потенциальной кислотностью, состоит в постепенном разложении фосфата кальция почвенной кислотностью, его трансформации в гидрофосфат кальция – соединение, доступное растениям. Схематически этот процесс можно представить в следующем виде:



В разложении фосфоритной муки участвует не только актуальная, но и потенциальная кислотность почв. Под влиянием кислотности почвы фосфоритная мука превращается в усвояемый растениями CaHPO_4 . На почвах, имеющих гидролитическую кислотность менее 20–25 ммоль-эк/кг, разложение фосфоритной муки происходит слабо и эффективность ее очень низкая. Чем больше гидролитическая кислотность, тем выше эффективность фосфоритной муки. Однако действие ее зависит не только от величины кислотности почвы, но и от емкости поглощения и степени насыщенности почв основаниями. При одной и той же гидролитической кислотности эффективность фосфоритной муки тем выше, чем меньше емкость обменного поглощения катионов почвы (рис. 89; Смирнов П.М., Муравин Э.А., 1988).

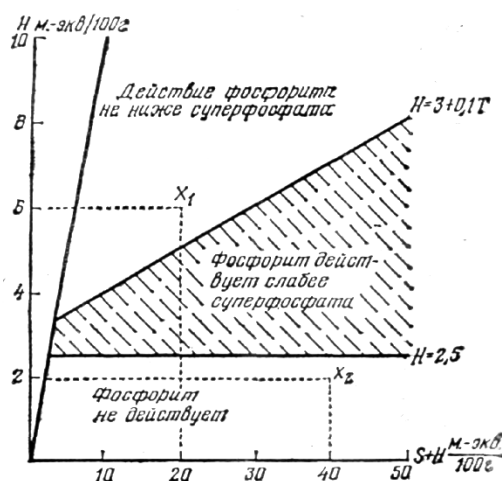


Рис. 89. График прогноза действия фосфоритной муки:

X_1 – почва, на которой действие фосфорита не ниже суперфосфата;
 X_2 – почва, на которой фосфорит не действует

Фосфориты желвакового типа, более молодые с точки зрения геологического возраста и не имеющие хорошо выраженного кристаллического строения, доступнее для растений. При их размоле получают муку, пригодную для непосредственного удобрения. Фосфориты более древнего происхождения, имеющие кристаллическое строение, труднодоступны для большинства растений и поэтому не пригодны для приготовления фосфоритной муки.

Эффективность фосфоритной муки увеличивается в значительной степени с повышением тонины помола. Чем тоньше частицы, тем больше их поверх-

ность соприкосновения с почвой и лучше происходит под действием почвенной кислотности реакция перехода трехзамещенного фосфата кальция фосфоритной муки до усвояемых растениями соединений. Значение тонины помола для повышения эффективности фосфоритной муки особенно велико на оподзоленных и выщелоченных черноземах, имеющих недостаточную кислотность для разложения этого удобрения.

Большинство растений может использовать фосфор из фосфоритной муки только при соответствующей кислотности почвы. К этой группе относятся все растения из семейства злаков, лен, свекла, картофель; из бобовых – горох, бобы, вика, клевер; при этом озимая рожь, клевер, горох усваивают фосфоритную муку несколько лучше, чем остальные культуры данной группы. Другая группа растений может хорошо усваивать фосфор из фосфоритной муки при слабокислой или даже нейтральной реакции; сюда относятся люпин, гречиха, эспарцет, горчица. Эти растения обладают также и повышенной способностью усваивать фосфор из почвы.

Способность растений усваивать труднорастворимые фосфаты с возрастом меняется. Большинство растений в первый период их вегетации слабо усваивают труднорастворимые фосфаты, а в дальнейшем эта способность возрастает. Усвоение фосфора из фосфоритной муки зависит и от сопутствующих удобрений: физиологически кислые удобрения повышают эффективность фосфоритной муки, а физиологически щелочные удобрения и известковые материалы, наоборот, снижают.

Эффективность фосфоритной муки повышается при применении ее для компостирования с органическими удобрениями и для нейтрализации физиологически кислых удобрений.

Фосфоритную муку применяют как основное удобрение, вносить ее лучше заблаговременно, с осени, обязательно с глубокой заделкой. Наиболее эффективно внесение ее вместе с навозом в пару под озимые культуры, а также под пропашные – сахарную свеклу, картофель, кукурузу. Положительное действие фосфоритной муки продолжается несколько лет. Чем больше норма этого удобрения, тем эффективнее и продолжительнее его действие.

Вивианит – минерал, водный фосфат закиси железа $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$. Назван в 1817 г. по имени английского минералога Дж. Г. Вивиана. Вивианит содержит 43,03 % оксида железа (II), 28,29 % P_2O_5 , и 26,68 % H_2O . Встречается этот минерал в порошкообразных или плотных массах. Твердость по минералогической шкале 1,5–2,0; плотность 2,6–2,7 т/м³. Распространен он в железорудных осадочных месторождениях, богатых фосфором, и в торфяниках. В чистом виде вивианит найден на Урале в окрестностях г. Ирбита и вблизи г. Керчи среди железных руд. Практический интерес представляет землистая разновидность вивианита, так называемая синяя железная руда (*болотная руда*). Она часто встречается в торфах низинных болот, главным образом осокового и березово-ольшаникового происхождения, в виде различных включений. На месте образования синяя железная руда имеет грязно-белый цвет, а после извлечения руды на поверхность быстро приобретает синюю окраску, переходящую в дальнейшем, по мере высыхания, в серовато-голубую. Вивианит в таком виде легко рассыпается в тонкий пылящий порошок. При хранении на открытом воздухе вивианит постепенно переходит в желтую бурю руду – лимонит с окисной формой железа. Образование вивианита в болотах связывается с восстановительными процессами, происходящими в условиях недостатка кислорода.

Болотная руда (вивианит) используется как фосфорное удобрение на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах. Вивианит легко разрыхляется при высыхании и неплохо рассеивается. В нем содержится от 30 до 50 % торфа, от 12 до 26 % P_2O_5 , от 16 до 25 % FeO и в некоторых – небольшое количество кальция. Вивианит по действию приближается к фосфоритной муке. Его можно вносить из расчета 90–120 кг P_2O_5 на 1 га.

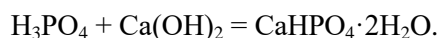
Костная мука (*костяная мука*) – побочный продукт переработки костей. По внешнему виду она представляет собой белый с сероватым оттенком сухой порошок тонкого помола. Кости когда-то были довольно значительным источником фосфорной кислоты для сельского хозяйства. Уже в начале XIX в. в Англии и Германии имелись мельницы для размола костей. В дальнейшем удельный вес этого источника фосфорной кислоты значительно уменьшился. В костях имеются органические и минеральные вещества. Средний состав сырой кости следующий:

$Ca_3(PO_4)_2$	58–62 %	Органическое вещество (жир и клей)	26–30 %
$Mg_3(PO_4)_2$	1–2 %	в том числе жир	10–15 %
$CaCO_3$	6–7 %	Азот в клеевом веществе	4–5 %
CaF_2	2 %		

В неизменном виде измельченная кость в почве трудно разлагается вследствие плохой смачиваемости почвенной водой облегаемых жиром частиц кости. Поэтому, прежде чем кость употреблять на удобрение, ее нужно подвергнуть переработке. Самый простой способ переработки кости – обжиг ее при доступе воздуха. Органическое вещество сгорает, и остается костяная зола. Но при этом усвояемость фосфорной кислоты значительно снижается, что, вероятно, связано с переходом ортофосфорной кислоты в пиро- и метафосфорную кислоту:



Обычно кость перерабатывается таким образом, чтобы из нее были выделены такие органические вещества как клей и жир. Для получения жира применяют экстракционный способ, при котором жир извлекается бензином, а обезжиренные кости обрабатываются паром под давлением 1,5–2 атм. с последующей промывкой водой для извлечения клея. Получается обезжиренная и обесклеенная костяная масса, которую подвергают обработке соляной кислотой. При экстракционном способе $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$ и другие минеральные вещества растворяются, остается мягкий остов, состоящий из оссеина. При нагревании с водой оссеин дает высококачественный клей (желатин). Фосфорная кислота из солянокислого раствора осаждается "известковым молочком" в виде преципитата по уравнению:



Обезжиренная и обесклеенная костяная мука содержит 30–35 % P_2O_5 в основном в форме не растворимого в воде трикальцийфосфата и до 1 % азота.

Костяная мука может быть с успехом применена на тех же почвах, что фосфоритная мука. Применяется так же, как и фосфоритная мука, но отличается большей эффективностью при удобрении всех культур. Исключение представляет люпин, для которого оба источника фосфора по своему действию близки. Наиболее эффективна костяная мука на кислых дерново-подзолистых почвах. Физиологически кислые азотные удобрения увеличивают доступность растениям фосфора костяной муки, а известь, наоборот, уменьшает.

7.2.1.3. Калийные удобрения

Калийные удобрения, как источник естественной радиоактивности, имеют особое значение в жизни растений – β - и γ -лучи создают дополнительную внутривещную энергию, которая принимает участие во многих биохимических процессах. С урожаем калия выносятся значительно больше, чем фосфора, а иногда даже больше, чем азота. Особенно это характерно для картофеля, корнеплодов и капусты. Много его потребляют многолетние бобовые и злаковые травы. Естественным путем калий возвращается в почву лишь с опавшими листьями, стеблями (соломой) и другими пожнивными остатками. Поэтому внесение калийных удобрений является одним из важнейших мероприятий повышения продуктивности всех сельскохозяйственных культур. Выделена группа так называемых калиелюбивых культур: сахарная свекла, кормовые корнеплоды, овощные культуры, кукуруза, картофель; большая потребность в калии у крыжовника.

Сырьем для производства калийных удобрений служат природные калийные соли: галит NaCl ; сильвинит $n\text{NaCl}+m\text{KCl}$; алунит $(\text{K},\text{Na})_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$; полигалит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; каинит $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; шенит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; лангбейнит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$; глазерит $3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$; нефелин $(\text{K},\text{Na})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

На территории Российской Федерации находится крупнейшее месторождение хлористых калийных солей – Верхнекамское (12 млрд. т) – расположено на левом берегу р. Камы вблизи городов Соликамск и Березники (западный склон Северного Урала). Месторождение было открыто в 1925 г., а производство удобрений начато в 1929 г. Калийные соли залегают здесь под толщей наносных пород. Верхняя часть пласта представлена карналлитом. Ниже залегают мощные пласты пестроокрашенного сильвинита, который является основным сырьем для получения хлористого калия на Соликамском и Березниковском комбинатах.

Сульфатные калийные удобрения получают из минералов каинитовых, лангбейнитовых и смешанных лангбейнито-каинитовых пород, а также из алунитов. Залежи полигалита, каинита и глазерита находятся в Саратовской и Оренбургской областях и в Башкирии (Заволжское месторождение). В 1986–1990 гг. среднегодовой выпуск калийных удобрений в России составлял 4,5 млн т д. в. (в расчете на K_2O), в 1993–1996 гг. он сократился до 2,5–2,7 млн т, а затем стабилизировался на уровне 3,5–4,0 млн т.

По содержанию действующего вещества (K_2O) калийные удобрения делят на две группы: *простые* калийные удобрения, содержащие до 30 % K_2O (сильвинит, каинит, полигалит, калимаг, калимагнезия, шенит и лангбейнит) и *концентрированные*, содержащие более 30 % K_2O (хлористый калий, сернокислый калий, хлористый калий-электролит, калийная соль, калийно-магниевый концентрат). Простые удобрения, за исключением калимага и калимагнезии, получают размолом природных калийных руд, поэтому их называют *сырыми* калийными солями.

В зависимости от используемого сырья различают хлорные и бесхлорные калийные удобрения.

7.2.1.3.1. Простые калийные удобрения

Сильвинит $n\text{KCl}+m\text{NaCl}$. Содержит 12–18 % K_2O и 35–40 % Na_2O . Примесь хлористого натрия в сильвините составляет 75–80 %. По стандарту соликамский сильвинит должен содержать 15 % K_2O . Получают путем механического размельчения сильвинитовой калийной агроруды. Это крупнокристаллическое вещество с кристаллами белого, оранжевого, бурого, а иногда синеватого цвета. Обладает

удовлетворительными физическими свойствами. При длительном хранении сильно слеживается. Недостатком этого удобрения является повышенное содержание хлора. Поэтому сильвинит необходимо вносить осенью для вымывания хлора, не поглощенного почвой. Из-за наличия натрия это удобрение лучше использовать на лугах и пастбищах, а также под кормовую и сахарную свеклу, исходя из их биологических особенностей. Из-за малого содержания действующего вещества сильвинит транспортировать на большие расстояния экономически невыгодно.

Каинит $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$, представляет собой размолотую каинито-лангбейнитовую руду. В качестве сопутствующих соединений каинит содержит $NaCl$, $CaSO_4$ и $MgSO_4$. Действующего вещества это удобрение содержит всего 8–10 %, хлора около 40 и MgO – около 8 %. Это крупнокристаллическое вещество серого, белого или оранжевого цвета. Не слеживается, перевозится навалом. Недостаток каинита тот же, что и у сильвинита – повышенное содержание хлора. Вносить его следует под основную обработку почвы, чтобы создать благоприятные условия для вымывания ионов хлора.

Полигалит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Содержит 12–15 % K_2O . Это бесхлорное калийное удобрение, ценность которого повышается благодаря наличию магния, серы и микроэлементов. Полигалит имеет хорошие физические свойства, не слеживается. Высокоэффективен при удобрении картофеля, льна, зерновых культур. Вносится осенью.

Шенит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$; содержит 20–23 % K_2O .

Лангбейнит $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$; содержит 22,7 % K_2O . По действию и свойствам это удобрение сходно с полигалитом.

Калимаг (калийно-магнезиальный концентрат) $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$. Содержит 17,5–19,5 % K_2O и 24–26 % MgO . Производят из лангбейнита после удаления выщелачивания из него $NaCl$. Калимаг имеет хорошие физические свойства: негигроскопичен, не слеживается. На Соликамском магниевом заводе при переработке карналлита освоено производство калимага хлористого гранулированного с содержанием 45–65 % KCl и 4,5–15,0 % $MgCl_2$. Это хорошее удобрение для картофеля, льна, клевера и других магниелюбивых культур, особенно при выращивании на бедных калием и магнием песчаных и супесчаных почвах.

Калимагнезия $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$. Получается из каинито-лангбейнитовой руды. Содержит 29 % K_2O , 9 % MgO , не более 25 % Cl и до 5 % влаги. Таким образом, в калимагнезии на единицу калия приходится примерно в 2 раза меньше хлора, чем в хлористом калии. Имеет хорошие физические свойства, негигроскопична, не слеживается. Получают калимагнезию при обезвоживании шенита. Ценное удобрение под культуры, чувствительные к хлору (картофель, овощи, плодовые, гречиха, лен) на почвах легкого гранулометрического состава, бедных магнием. Можно применять на всех почвах под все культуры различными способами внесения.

Печная зола. Местное калийно-фосфорно-известковое удобрение. Калий содержится в золе в виде карбоната (K_2CO_3). Количество K_2O в золе колеблется в зависимости от источника топлива (табл. 63; Анспок П.И., Штиканс Ю.А., Визла Р.Р., 1981).

Печная зола – наилучшая форма калия для культур, чувствительных к хлору. Ее необходимо хранить в сухом помещении, т. к. вода выщелачивает из нее калий и другие питательные вещества и удобрительная ценность снижается. Она может применяться на всех почвах и под все культуры: картофель, овощные, клевер, многолетние травы. Как удобрение, содержащее известь, наиболее эффективна на кислых почвах, особенно на бедных калием песчаных, супесчаных и торфяниках.

Таблица 63 – Состав золы разных видов топлива, %

Зола	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO
Соломы: пшеничной	13,6	6,4	5,9
ржаной	16,2	4,7	8,5
рисовой*	18,1	5,1	7,3
гречишной	35,3	2,5	18,5
Стеблей подсолнечника	36,3	2,5	18,5
Дров: березовых	13,8	7,1	36,3
сосновых	6,9	2,0	31,8
еловых	3,2	2,4	25,3
ивовых	4,6	2,1	43,5
Навоза, кизняка	1,0	5,0	9,0
Торфа: низинного	1,0	1,2	20,0
верхового	0,3	0,5	3,0
Каменного угля: в чистом виде	0,1–0,4	0,1–0,4	–
вместе с дровами	1,0	2,0	–

* дополнен А.Х. Шеудженом

Золу можно вносить как основное удобрение с осени под вспашку или весной под культивацию зяби, а также в виде подкормки под пропашные (или при междурядных обработках), озимые культуры и многолетние бобовые травы (поверхностно, рано весной).

Норма золы зависит от содержания в ней калия и фосфора. Зола от сжигания соломы и дров обычно рекомендуется вносить в норме 0,5–1,5 т/га под вспашку или культивацию.

Цементная пыль – отход цементных заводов; содержит 10–15 % K₂O. Калий содержится в цементной пыли в виде карбоната, гидрокарбоната, сульфата и силикатов. Соотношение между солями зависит от состава сырья и технологии производства. Кроме соединений калия, в цементной пыли содержатся оксид кальция, гипс, полутонные оксиды и примеси микроэлементов. Калийные соли цементной пыли растворимы в воде и доступны растениям. Отход имеет щелочную реакцию, не содержит хлора и применяется на кислых дерново-подзолистых почвах под культуры, чувствительные к хлору.

7.2.1.3.2. Концентрированные калийные удобрения

Хлористый калий. Химически чистый KCl содержит 63,1 % K₂O, а удобрение, имеющее некоторое количество примеси NaCl, – от 50 до 60 % K₂O.

В мировом производстве калийных удобрений на долю хлористого калия приходится 80–90 %. Хлористый калий – мелкокристаллическое удобрение белого или кремового цвета с примесью оранжевых или красных кристаллов. Получают его разделением сильвинита на хлориды калия и натрия гидроциклонным способом, а также галургическим и флотационным обогащением калийных руд. При *гидроциклонном способе* получают крупнокристаллический хлористый калий путем разделения хлоридов калия и натрия по удельной массе в специальных аппаратах "Гидроциклон". *Галургический способ* производства основан на неодинаковой растворимости компонентов сильвинита – хлористого калия и хлористого натрия – при повышении температуры до 90–100 °С. При этом в растворах, насыщенных обеими солями, содержание хлористого калия увеличивается примерно в два раза, а хлористого

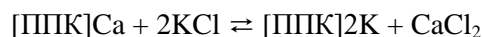
натрия уменьшается. При последующем охлаждении раствора до 20–25 °С хлористый калий кристаллизуется, а хлористый натрий остается в растворе. После высушивания образовавшихся кристаллов получается мелкокристаллический хлористый калий, который при хранении слеживается.

Флотационный способ получения хлористого калия отличается от предыдущего тем, что для отделения KCl от NaCl в сильвинит добавляют амины в качестве поверхностно-активного вещества, которые адсорбируются только на поверхности кристаллов KCl. При интенсивной продувке его кристаллы всплывают, а кристаллы NaCl оседают. Флотационный хлористый калий имеет более крупные естественные кристаллы, а реагенты на поверхности кристаллов KCl резко уменьшают слеживаемость удобрения.

Хлористый калий, полученный галургическим способом, – белое кристаллическое вещество, флотационным – в виде частичек красноватого цвета. Кристаллический хлористый калий (марка "К") содержит 62–62,5 % K₂O, флотационный (марка "Ф") – в зависимости от сорта от 54 до 60 % K₂O.

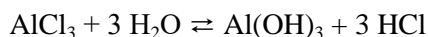
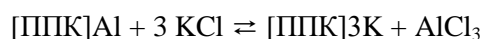
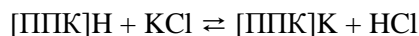
Хлористый калий при внесении в почву легко растворяется в почвенном растворе, а затем вступает во взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом по типу обменного, а частично и необменного поглощения.

Обменное, т. е. физико-химическое поглощение ионов калия почвой составляет значительную часть емкости обмена. Реакция физико-химического (обменного) поглощения катиона K⁺ почвой обратима. Обменное поглощение калия протекает различно в зависимости от свойств почвы. Для почв, насыщенных кальцием, процесс обмена можно изобразить следующим образом:



В результате этого кальций переходит в почвенный раствор. Свойства почв при этом существенно не изменяются.

В кислых почвах в обмен на ионы калия почвенный раствор обогащается катионами водорода и алюминия:



Появление ионов H⁺ и Al³⁺ в почвенном растворе приводит к его подкислению. Кроме того, дополнительное подкисление почвенного раствора происходит и за счет физиологической кислотности хлористого калия: растения значительно интенсивней потребляют катион калия (K⁺), чем сопутствующий ему анион хлора (Cl⁻). В результате обменных реакций в почвенном растворе образуется соляная кислота. Кроме того, дополнительное подкисление почвенного раствора происходит за счет соляной кислоты, образующейся в результате гидролиза хлористого алюминия. Поэтому на кислых дерново-подзолистых почвах эффективность калийных удобрений снижается. Однако подкисляющее действие калийных удобрений на почвенный раствор намного ниже аналогичного влияния аммонийно-нитратных и аммонийных удобрений, и проявляется она, как правило, только при длительном применении этих удобрений под калиелюбивые культуры, потребляющие большое количество калия.

В результате перехода калия в обменно-поглощенное состояние ограничивается его подвижность в почве и предотвращается вымывание за пределы пахотного слоя, за исключением почв легкого гранулометрического состава с

низкой емкостью обмена. Обменно-поглощенный почвой калий удобрений хорошо доступен растениям.

Частично калий поглощается почвами необменно. Фиксация, т. е. необменное поглощение калия почвами может происходить двумя способами: путем иллитизации части набухающей минеральной фазы и при непосредственном вхождении катионов калия на имеющиеся свободные позиции в кристаллической решетке минералов группы гидрослюдов и монтмориллонитов. Особенно сильно поглощаются необменно катионы калия вермикулита. Фиксированные катионы калия менее доступны растениям, чем обменно-поглощенные.

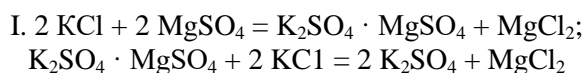
Хлористый калий – наиболее распространенное калийное удобрение и может применяться под все культуры и на любых почвах. Пригоден для основного, припосевного удобрения и подкормок. Не рекомендуется его внесение под культуры, чувствительные к хлору. Необходимо сказать, что ион хлора в хлористом калии в разумных дозах не только не опасен, но и благотворно сказывается на жизнедеятельности растений. Клетки практически всех растений в составе вакуолярного сока содержат большое количество хлора. Растения имеют специфическую Cl-транспортную систему, обеспечивающую быстрое поглощение иона хлора. В отличие от других анионов хлор не подвергается химическим преобразованиям в клетке и при концентрации 2–20 мг/кг сухого вещества выполняет положительную роль в физиологических процессах:

- участвует в реакциях фотолиза при фотосинтезе;
- усиливает поступление в клетки катионов K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и сохраняет электронейтральность;
- оказывает влияние на оводненность растений, повышая осмотическое давление в клетках и их водоудерживающую способность, контролируя работу устьичного аппарата, – все это способствует устойчивости растений в неблагоприятных условиях;
- участвует в создании запасов энергии в клетке.

При содержании 15 % хлора в удобрениях он никакого отрицательного действия на растения, даже чувствительных к этому элементу, не оказывает. Маркировка "бесхлорное удобрение" служит только в рекламных целях и для оправдания высокой стоимости удобрения.

Калийная соль ($KCl+KCl\cdot NaCl$) – кристаллическая соль серого цвета с включением розовых кристаллов. Содержит 41–44 % K_2O , 20 – Na_2O и 50 % Cl ; физиологически кислое удобрение. Получается механическим смешиванием хлористого калия с тонкоразмолотым силвинитом или каинитом. По сравнению с хлористым калием калийная соль имеет меньшую гигроскопичность, но при хранении слеживается; в сухом состоянии удовлетворительно рассеивается. Наиболее эффективна при внесении под сахарную свеклу в кормовые корнеплоды, которые положительно реагируют на натрий и малочувствительны к хлору. Является хорошим удобрением для сенокосов и пастбищ. При внесении высоких норм азотных удобрений сочетание калия с натрием в калийной соли снижает накопление нитратного азота в растениях, усиливает углеводный обмен. Для культур, чувствительных к избытку хлора, она менее пригодна, чем хлористый калий. Рекомендуется вносить калийную соль в качестве основного удобрения. По техническим требованиям она должна содержать не менее 40 % K_2O .

Сульфат калия (сернокислый калий). Химически чистый K_2SO_4 содержит 54,1 % K_2O , а в техническом продукте, идущем на удобрение, содержание K_2O колеблется от 45 до 52 %. Производится методами обменного разложения KCl и $MgSO_4$ (I) и термического восстановления (II):



Сульфат калия вследствие невысокой растворимости выпадает в осадок, а хорошо растворимый MgCl_2 остается в растворе. Осадок сульфата калия отфильтровывают и сушат.



Сульфат калия выщелачивается при 100°C водой, а оксид магния остается в осадке; сернистый газ восстанавливается метаном до элементарной серы.

Сульфат калия – это мелкокристаллическая соль белого или кремового цвета. Удобрение обладает хорошими физическими свойствами: негигроскопично, хорошо рассеивается, не слеживается, перевозить его следует в таре или насыпью в крытых вагонах. Может применяться на любых почвах и под все культуры. Обычно в этом удобрении содержится 1–2,5 % хлора. Сульфат калия является ценным удобрением для картофеля, овощей, льна, табака, плодовых, зерновых культур и многолетних трав. Наличие в удобрении сульфат-иона может положительно влиять на урожай растений семейства капустовых и бобовых, потребляющих из почвы значительное количество серы.

Хлоркалий-электролит. Продукт, получаемый при производстве магния из Соликамского карналлита, содержит 32–45 % K_2O в форме KCl , кроме того, в нем присутствует около 30 % NaCl и 2–3 % MgCl_2 (16 % Na_2O и 0,2 % MgO). Хлоркалий-электролит сильнопылящий мелкокристаллический порошок с желтым оттенком; не слеживается, его перевозят в бумажных мешках или насыпью. На Березниковском комбинате освоено производство гранулированного калий-электролита с содержанием 42 % K_2O и 6–7 % MgO . В качестве основного удобрения хлоркалий-электролит можно применять при внесении с осени под все культуры. По эффективности он приближается к KCl ; на бедных магнием легких почвах более эффективен, чем хлористый калий.

Поташ (калий углекислый) K_2CO_3 – побочный продукт при переработке нефелинового сырья. Содержит 52–55 % K_2O . Это концентрированное, порошковидное, легкорастворимое, высокогигроскопичное удобрение, имеющее щелочную реакцию. Поташ рекомендуется вносить под картофель и плодово-ягодные культуры на кислых почвах. Недостаток его – сильная гигроскопичность. Щелочность и отсутствие хлора делают это удобрение высокоэффективным на кислых дерново-подзолистых почвах.

7.2.1.4. Кремниевые удобрения

Кремний – второй элемент после кислорода по распространенности в земной коре, составляя 29,5 % ее массы. Содержание кремния в почве определяется, главным образом, наличием в ней кварца и в меньшей степени – первичных силикатов и алюмосиликатов. В ряде случаев присутствует, даже в больших количествах, аморфный кремнезем в виде опала или халцедона, генезис и накопление которых связаны с биогенными или гидрогенными процессами. Кремнезем (SiO_2) в виде кварца и алюмосиликатов составляет 65–95 % неорганической части почв.

Растения по содержанию кремния делятся на две группы: кремнефобные и кремнефильные. Первая группа в основном объединяет двудольные растения. Содержание кремния в них не превышает 0,01–0,1 % сухой массы. К второй группе относится большинство однодольных растений. Содержание кремния в кремнефильных растениях может достигать до 20 %, но чаще находится в пределах 1–10 % сухой массы.

Растения поглощают кремний в виде истинных растворов мономерной орто-кремниевой кислоты. Возможна его ассимиляция и в виде иона силиката. В растениях, поглощающих кремний, поверхность корневых волокон имеет основной (щелочной) характер и покрыта слоем гидроксильных групп, которые могут замещаться ионами силиката, другие же растения могут иметь клеточные мембраны, содержащие кислотные группы или же равное количество кислотных и основных групп. Поглощение кремния корневой системой связано как с конвективным переносом, так и с пассивной диффузией. Кремнефильные растения поглощают этот элемент и путем активного переноса против электрохимического потенциала. В растениях обнаружены специальные ферменты "силиказы", обуславливающие ассимиляцию и метаболизм значительных количеств кремния. В листьях просо найден фермент, ответственный за включение кремния в органические соединения. В ассимиляции кремния рисом участвует оксидаза цитохром.

Поглощение кремния растениями зависит от запасов его доступных форм в почве, чему приблизительно соответствует количество SiO_2 , экстрагируемое из почвы ацетатным буферным раствором лимонной кислоты или водой.

Вовлечение почв в сельскохозяйственное производство нарушает сложившийся баланс кремния, поскольку значительная часть этого элемента ежегодно безвозвратно отчуждается с урожаем. Причем, растения выносят кремния больше, чем других элементов. Так, для картофеля эта величина колеблется от 50 до 70 кг/га, для зерновых – от 100 до 300 кг/га. Максимальное количество этого элемента выносятся сахарным тростником – до 700 кг/га. Ежегодно в мире 210–225 млн. т кремния безвозвратно отчуждается из почв урожаем, поэтому концентрация монокремниевой кислоты, особенно в пахотном слое, быстро снижается. Нарастающий дефицит кремния вызывает ряд негативных последствий, т.к. кремний является не только питательным, но и конструктивным почвенным элементом. Дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение содержания аморфного кремнезема приводит к разрушению органо-минерального комплекса почвы, ускорению деградации органического вещества, ухудшению минералогического состава.

Для поддержания баланса монокремниевой кислоты в почве необходимо внесение кремниевых удобрений. Основатель теории минерального питания растений Ю. Либих (1840), опираясь на данные по химическому составу растений, первым пришел к выводу о необходимости внесения кремниевых удобрений под сельскохозяйственные культуры. В 1856 г. Д.Б. Лооз заложил первый полевой опыт "Grass Park" на Ротамстедской станции (Rothamsted Station) в Англии, где в одном из вариантов предусматривалось ежегодное внесение кремниевого удобрения. Этот эксперимент продолжается до сих пор, и вариант с данным видом удобрения обеспечивает стабильную прибавку урожая.

В России инициатором изучения и испытания кремниевых удобрений был Д.И. Менделеев, который в 1870 г. предложил использовать аморфный диоксид кремния. В 1881 г. в США J. Zippicott и J. Zippicott запатентовали коммерческое кремниевое удобрение. В настоящее время кремниевые удобрения получили наибольшее применение в рисоводстве. Установлены критерии необходимости их внесения под рис (табл. 64; Шеуджен А.Х., Алешин Н.Е., 1986). Как следует из приведенных данных, если в соломе риса кремния содержится меньше 11 %, то растения испытывают кремниевую недостаточность.

Оптимизация кремниевого питания приводит к повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды и их продуктивности. Обогащение почвы коллоидной кремниевой кислотой в результате внесе-

ния силикатных известковых удобрений приводит к расширению отношения $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$ в почвенном поглощающем комплексе. С расширением отношения ацидоидов к базоидам уменьшается активность полуторных окислов почвы, которые могут оказывать вредное влияние на развитие растений, а также связывать находящуюся в почве фосфорную кислоту; повышать подвижность имеющейся в почве фосфорной кислоты, уменьшать поглощение P_2O_5 , вносимого с удобрениями, и увеличивать доступность ее растениям. Поликремниевые кислоты способны связывать почвенные частицы, образуя кремниевые мостики между ними. Это, в свою очередь, приводит к повышению агрегатированности, влагоемкости, емкости обмена и буферности почв легкого гранулометрического состава. С помощью кремниевых удобрений можно снизить опасность водной эрозии почв, в результате чего создаются лучшие условия для роста и развития растений. Данный эффект обусловлен увеличением инфильтрации путем коагуляции коллоидов. Помимо всего этого, кремниевые удобрения, обладая высокой адсорбционной способностью, удерживают в корнеобитаемом слое почвы внесенные минеральные удобрения и тем самым опосредованно могут привести к повышению продуктивности сельскохозяйственных культур.

Таблица 64 – Группировка рисовых почв по содержанию доступного растения кремния

Обеспеченность почв	Содержание кремния		Ожидаемая эффективность кремниевых удобрений
	в почве, мг/кг	в соломе, %	
Низкая	<105	<11	Высокая
Средняя	105–130	11–13	Средняя
Высокая	>130	>13	Не эффективно

В качестве кремниевых удобрений можно использовать метасиликат натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, ионогидрат), метасиликат калия K_2SiO_3 , ортосиликат натрия Na_2SiO_4 и натрий кремнефтористый Na_2SiF_6 . Перечисленные удобрения наибольший эффект дают при предпосевной обработке семян и некорневой подкормке вегетирующих растений. Обработку семян зерновых культур проводят 0,5–1,0 %, некорневую подкормку растений – 0,10–0,50 % водными растворами кремния. Для внесения в почву пригодны кремнекальциевые соединения. Этот способ наиболее эффективен на почвах, обедненных подвижной кремниевой кислотой, к которым и относятся почвы с повышенной кислотностью. Несмотря на малую растворимость, силикат кальция способен к обменным реакциям в кислых почвах. В результате кальций переходит в поглощенное состояние, вызывая снижение кислотности почвы, а кремниевая кислота – в свободно активное. Положительное действие кремнекислоты на кислых почвах заметно проявляется лишь при одновременном устранении или снижении почвенной кислотности. Следовательно, способность силиката кальция нейтрализовать кислотность почвы является предпосылкой для положительного действия самой кремнекислоты.

Кремнекислота обладает защитным действием против вредного влияния на растения гидрата окиси алюминия, образующегося в почве в результате распада сложных силикатов. Обезвреживание ее происходит в результате образования ферриалюмосиликатов, быстро выпадающих в осадок вследствие их ничтожной растворимости.

7.2.1.5. Углеродные удобрения

Источником углерода для растений служит диоксид углерода (CO_2), ассимилируемый в процессе фотосинтеза растениями из атмосферы и корневой системой из почвенного раствора. В воздухе его содержится в среднем $0,3 \text{ см}^3/\text{л}$, в почве – примерно $3 \text{ см}^3/\text{л}$. Из почвы ежегодно выделяется в атмосферу 8 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ диоксида углерода. Концентрация его в воздухе над растениями колеблется в пределах $0,28\text{--}0,61 \text{ мг/л}$. Над полями, удобренными минеральными и органическими удобрениями, содержание диоксида углерода более высокое. Растения удовлетворяют свою потребность в углероде примерно на $75\text{--}80 \%$ из воздуха и $20\text{--}25 \%$ из почвы. Следовательно, преобладающим компонентом в углеродном питании растений является CO_2 атмосферы.

Дефицит диоксида углерода (в воздухе содержится $0,03 \%$) в условиях защищенного грунта, особенно при гидропонной культуре, растения испытывают в дневные часы в весенне-летний период. Это приводит к снижению интенсивности и продуктивности фотосинтеза, а, следовательно, и большому недобору урожая, поэтому в теплицах и оранжереях в дневные часы растения нуждаются в дополнительном обеспечении углеродом.

В качестве углеродного удобрения используются: а) газообразная углекислота, б) твердая углекислота (сухой лед), в) продукты каталитического (беспламенного) горения газа и твердого топлива, г) минеральные карбонатные соли и органические удобрения.

Газообразная углекислота используется для удобрения овощных культур в закрытом и открытом грунте. Газ подается из баллона в дневные часы. При подкормке углекислотой урожайность огурцов в закрытом грунте возрастает на $25\text{--}74 \%$. У помидоров сильно разрастается куст под влиянием газирования, но урожай плодов при этом увеличивается незначительно. Под действием подкормки углекислотой ускоряется процесс созревания растений и улучшается качество продукции. В открытом грунте углекислоту подают вместе с поливной водой при дождевании. Этот прием увеличивает урожайность корнеплодов сахарной свеклы на $20\text{--}25 \%$ и содержание сахара – на $0,5\text{--}1,0 \%$.

Твердую углекислоту (сухой лед) применяют на удобрение в закрытом грунте. Необходимое количество твердой углекислоты по расчету на объем теплицы дробят на куски весом примерно $0,5 \text{ кг}$; последние равномерно раскладывают на стеллажах по всей теплице. Твердая углекислота переходит в газообразное состояние, и теплицы газифицируются.

Продукты каталитического (беспламенного) горения используют для подкормки растений. Углекислоту получают при сжигании бытового газа или твердого топлива в специальных печах каталитического горения сравнительно несложной конструкции. Полученный газ, содержащий до 15% CO_2 , вводят для газации растений в теплицу.

Минеральные карбонатные соли и органические удобрения могут служить источником углекислоты для удобрения сельскохозяйственных культур. При внесении в почву органических удобрений растения снабжаются не только азотом и зольными элементами, но и диоксидом углерода, поглощаемым как корнями, так и листьями. Размеры образования углекислоты в почве в процессе минерализации органического вещества зависят от количества внесенных органических удобрений и наличия растительных остатков в почве.

Наряду с органическими удобрениями и подкормкой растений углекислотой, в условиях закрытого и открытого грунта могут оказаться эффективными углекислые соли калия, натрия и аммония.

Эффективность углеродных удобрений в значительной степени зависит от условий минерального питания и температуры окружающей среды. Применять углекислоту на удобрение необходимо, прежде всего, в условиях закрытого грунта и при выращивании овощных культур гидропонным способом, где органические удобрения не вносят.

7.2.2. Мезоудобрения

7.2.2.1. Железные удобрения

Железо – один из распространенных элементов земной коры. Содержание его в почвах колеблется от 1 до 5 %. Особенно богаты железом красноземы, в которых количество его доходит до 10–11 %. Наиболее бедны железом легкие песчаные почвы, содержащие около 1 % этого элемента. Несмотря на довольно большие общие запасы железа в почвах, количество растворимых, усвояемых растениями соединений его часто оказывается недостаточным.

Доступность для растений подвижных форм железа в значительной степени зависит от pH почвенного раствора и снижается при подщелачивании. Ионы Fe^{3+} при $pH > 2,4$ осаждаются в виде гидроокиси или гидрата, тогда как ионы Fe^{2+} лишь вблизи нейтральной точки. С увеличением кислотности подвижность железа в почве возрастает.

Обеспечение растений железом затруднительно прежде всего на карбонатных почвах вследствие его сильной фиксации.

Повышение окислительно-восстановительного потенциала (Eh) до 700–750 мВ благоприятствует окислению и тем самым фиксации железа. Интенсивная аэрация почвы усиливает этот процесс. Снижение Eh до 200–250 мВ, наоборот, приводит к накоплению восстановленных соединений и его вымыванию из пахотного слоя почвы с образованием конкреционных горизонтов. В рисовых почвах потери железа из пахотного слоя достигают больших величин. Это приводит к уменьшению емкости обмена, повышению кислотности, обусловленной подвижным алюминием, и к разрушению микроструктуры почв, в результате чего при высыхании они становятся плотно-монокристаллическими, пригодными для возделывания только риса. При вымывании подвижного железа фильтрационными водами рис может испытывать недостаток в этом элементе.

Железо может поглощаться корнями растений в форме катионов Fe^{2+} и Fe^{3+} и в виде хелатных соединений. Возможно также его поглощение через листья. Кларк железа в растениях равен 0,02 % сухой массы. Однако его количество в растениях сильно колеблется, что определяется их видовыми особенностями и почвенно-климатическими условиями произрастания. Хозяйственный вынос железа культурными растениями находится в пределах 1–10 кг/га. Недостаток этого элемента для растений чаще всего встречается на карбонатных и переизвесткованных почвах. Значительно реже его недостаток наблюдается на кислых почвах. Железное голодание растений в этом случае, как правило, связано с высоким содержанием в почве тяжелых металлов – марганца, меди, цинка, никеля. Обычно кислые почвы имеют большое количество подвижного железа, которое не только полностью удовлетворяет потребность растений в нем, но может быть даже избыточным и оказывать отрицательное действие.

Наиболее чувствительны к недостатку железа плодовые культуры – яблоня, груша, слива, персик, цитрусовые, а также малина и виноград. Железное голодание наблюдается и у полевых и овощных культур – риса, овса, кукурузы, люпина, картофеля, капусты и томатов, но, как правило, оно проявляется в более слабой степени, чем у древесных многолетних культур.

Важнейшим признаком недостатка железа является заболевание хлорозом. При небольшом его дефиците наблюдается бледная окраска листьев, при среднем – типичный междужилочный хлороз. Острый недостаток железа приводит к сильному хлорозу молодых листьев. Для обеспечения растений железом применяют удобрения, содержащие этот элемент: чистые водорастворимые соли, хелаты и фритты (табл. 65).

Таблица 65 – Ассортимент железных удобрений

Удобрение	Формула	Содержание железа, %	Вид продукта
Сульфат железа (II)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20	Порошок
Сульфат железа (III)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20	Порошок
Карбонат железа (II)	$\text{FeCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	42	Порошок
Железоаммонийные квасцы	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14	Порошок
Фритты	Стекло	40	Порошок
	Fe – ДТПА	10	Порошок
	Fe – ЭДТА	9–12	Порошок
	Fe – ЭДДА	6	Порошок
Комплексонат железа	Fe – ДП – 11	11	Порошок
	Fe – ДП – 7	7	Порошок
	Fe – ДЛ – 6	6	Жидкость
	Fe – ДЛ – 3	3	Жидкость
Fe – Лигносульфат	–	5–11	Порошок
Fe – Метоксифенилпропан	–	5	Порошок
Полифлавоноид	–	6–10	Порошок
Двойной суперфосфат с железом (0-46-0)+ Fe	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + (\text{Fe})$	3,3	Гранулы
NPK – удобрение с железом (14,1+14,1+14,1)+ Fe	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	1,2	Суспензия

Водорастворимые соли: сульфат железа (железный купорос) – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, хлорид железа (II) – $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, хлорид железа (III) – $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, гипофосфит железа (III) – $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_2)_3$, иодид железа (II) – FeI_2 , нитрат железа (III) – $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и ортофосфат железа (III) – $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Из перечисленных водорастворимых солей наиболее эффективным является железный купорос – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, содержащий 47–53% серноокислой закиси железа. Его получают в значительных количествах из отходов металлургической промышленности – травильных растворов. Он представляет собой крупно- или мелкокристаллическое вещество серого цвета, часто с белым, желтым или бурым налетом.

Фритты производят как стекловидные соединения путем спекания и последующего быстрого охлаждения. Основой их является силикат, в который включают тот или иной питательный элемент. Фритты являются источником постепенного и равномерного питания растений железом, т.к. содержат его в водонерастворимой, но усвояемой растениями форме. Эти удобрения растворимы в 2 %-ной лимонной кислоте. В кислой почве усвояемость их выше, чем в нейтральной или щелочной. Почвой фритты не поглощаются. Тонко размолотые фритты вносят в почву совместно с органическими и минеральными удобрениями при основной обработке или локально при посеве. Норма удобрения зависит от требовательности растения к железу, и обеспеченности почвы этим элементом.

Перспективно их применение в орошаемом земледелии, в частности в рисоводстве, где невозможно исключить вымывание водорастворимых форм

удобрений фильтрационными и сбросными водами. Фритты вносят под рис непосредственно в почву из расчета Fe₂₅₋₅₀.

Хелаты являются комплексными соединениями органических веществ с железом. Они хорошо растворимы, слабо поглощаются почвой и в то же время легко усваиваются растениями. В качестве основы комплекса используются аминополууксусные кислоты. Наиболее перспективными являются комплексы железа с диэтилентриаминпентауксусной (Fe-ДТПА), этилендиаминтетрауксусной (Fe-ЭДТА) и полиэтиленполиаминполиуксусной (Fe-ПППУ) кислотами. Эти комплексы содержат 7–10 % железа и представляют собой темно-коричневые растворы без запаха с удельной массой 1,4 г/см³.

Fe-ДТПА получают при взаимодействии железного купороса с диэтилентриамином. В реактор загружают хлорацетат натрия в заданном соотношении и при температуре 45 °С добавляют диэтилентриамин и 40 %-ю щелочь. Загрузку ведут с такой скоростью, чтобы температура смеси не превышала 60 °С, а рН было в пределах 9–11. Затем постепенно вводят определенное количество сульфата железа. После охлаждения до 18–20 °С и фильтрования раствор, содержащий 13–15 % Fe-ДТПА, направляют потребителю.

Большой интерес представляют удобрения семейства ДП–ДЛ, имеющие в своем составе железо в хелатной форме ДТПА. Удобрения этой серии отличаются полным отсутствием фитотоксичности при некорневых подкормках и высокой эффективностью при использовании их в системах малообъемной гидропоники. Состав: ДП 11 – 11 % железо, ДП 7 – 7 %, ДЛ 6 – 6 %, ДЛ 3 – 3 % железо.

Водорастворимые соли и хелаты железа в качестве удобрения можно вносить в почву, а также использовать для обработки посевного материала или некорневой подкормки вегетирующих растений. В почву их вносят в твердом виде или в виде водных растворов. При внесении в почву железо сравнительно быстро переходит в недоступное для растений состояние. Более эффективной является обработка посевного материала. Для этих целей используют 0,5–1 %-ные водные растворы солей железа.

Для устранения железного голодания растений используют некорневые подкормки растворами водорастворимых солей и хелатов железа. Последние действуют на листовой аппарат мягче и обеспечивают прибавку урожая. Для некорневой подкормки растений используют 0,1–0,5 % водные растворы железа. При корневой подкормке для проникновения хелата к корням растений необходимо обеспечить нормальную влажность почвы (поливом или мульчированием). На одно плодовое дерево в зависимости от возраста расходуют 5–12 л. Нормы и сроки применения железных удобрений семейства ДП–ДЛ, рекомендуемые фирмой-производителем, представлены в таблице 66.

Таблица 66 – Применение железных удобрений ДП–ДЛ для некорневых подкормок растений

Культуры	Кратность применения	ДП 11	ДП 7	ДЛ 6	ДЛ 3
Злаковые	1 раз	0,5–1,5 кг/га	1–2,5 кг/га	1–3 л/га	2–6 л/га
Соя, свекла	1 раз	0,5–1,5 кг/га	1–1,2 кг/га	1–3 л/га	2–6 л/га
Виноград	2–3 раза	50–150 г/гЛ	100–250 г/гЛ	100–300 л/гЛ	200–600 мл/гЛ
Цитрусовые, семечковые	2–4 раза	50–150 г/гЛ	100–250 г/гЛ	100–300 мл/гЛ	200–600 мл/гЛ
Косточковые	2–3 раза	50–150 г/гЛ	100–250 г/гЛ	100–300 мл/гЛ	200–600 мл/гЛ
Овощи	1 раз	30–50 г/гЛ	50–70 г/гЛ	50–80 мл/гЛ	100–150 мл/гЛ

На гидропонике нормы железных удобрений колеблются от 0,1 до 0,5 кг/м³. Рабочие растворы готовят в стеклянной, деревянной или железной посуде. Они не должны соприкасаться с медными, латунными или цинковыми деталями.

Недостаток железа часто бывает вызван не отсутствием его в почве, а физиологическим нарушением поглощения и использования железа растениями. Поэтому некорневая подкормка вегетирующих растений железом более эффективна, чем внесение его в почву.

7.2.2.2. Кальциевые удобрения

Недостаток кальция растения испытывают, прежде всего, на почвах, характеризующихся повышенной кислотностью. По результатам агрохимического обследования почв в Российской Федерации, в настоящее время 34 % пашни нуждается в известковании. Это в основном дерново-подзолистые и серые лесные почвы. Наибольшие площади кислых почв находятся в Северном, Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском и Дальневосточном экономических районах страны. Кислотность этих почв – генетическое свойство, связанное с условиями почвообразования на бескарбонатных почвообразующих породах. Устранение избыточной их кислотности достигается известкованием. *Известкованием* называется удобрение почвы кальцийсодержащими соединениями, способными оказывать нейтрализующее действие на почвенную кислотность. Мелиоративное известкование является не только важным средством устранения кислотности почв, но и одновременно дополнительным источником обеспечения растений кальцием.

По отношению к кислотности почвы и отзывчивости на внесение кальциевых удобрений сельскохозяйственные культуры делятся на 5 групп (табл. 67; Ефимов В.Н., 2003).

Таблица 67 – Группировка сельскохозяйственных культур по их отношению к кислотности почвы

Группа	Культура	Отношение к кислотности почвы	pH
I	Хлопчатник, пшеница озимая, свекла, конопля, капуста, лук, чеснок, сельдерей, клевер, люцерна, донник, райграс, ежа сборная, костер, смородина	Растения наиболее чувствительны к реакции среды пахотного горизонта; очень хорошо отзываются на известкование	6,5–7,2
II	Пшеница яровая, ячмень, горох, соя, кормовые бобы, фасоль, кукуруза, брюква, турнепс, огурец, салат, тыква, вика, лисохвост, овсяница луговая, мятлики, яблоня, слива, вишня, земляника	Растения, чувствительны к повышенной кислотности; хорошо отзываются на известкование	5,7–7
III	Овес, рожь озимая, гречиха, редька, морковь, редис, томат, тимофеевка, груша, малина	Растения, менее чувствительны к повышенной кислотности; положительно отзываются на известкование	5,3–6
IV	Картофель, лен	Растения, легко переносящие умеренную кислотность и плохо – нарушение соотношения между кальцием, калием, магнием и бором. Для льна обязательно ограничение азотных удобрений	4,8–5,7
V	Люпин, сераделла, крыжовник, щавель, чайный куст	Растения, переносящие повышенную кислотность; слабо нуждаются в известковании	4,5–5

Признаки, проявляющиеся на растениях, дают лишь приблизительное представление о кислотности почвы и совершенно не могут служить основанием для установления норм известки, нейтрализующих ее.

Норма известкового удобрения зависит от:

- рН солевой вытяжки, гидролитической кислотности и степени насыщенности почвы основаниями;
- биологических особенностей возделываемых культур;
- типа и гранулометрического состава почвы;
- мощности пахотного слоя почвы и ее удельной массы;
- содержания гумуса;
- продолжительности и норм применяемых физиологически кислых минеральных удобрений;
- количества потерь кальция из почвы и ранее внесенных кальциевых удобрений.

Наиболее достоверный метод определения норм кальциевых удобрений для конкретного региона – использование результатов полевых многолетних опытов, которые наиболее точно отвечают особенностям почвенно-климатических условий возделывания сельскохозяйственных культур.

Сравнительно точным является определение норм кальциевых удобрений по величине гидролитической кислотности (Нг), выраженной в ммоль Н⁺. Для нейтрализации 1 ммоль катионов Н⁺ требуется 1 ммоль эквивалентов Са²⁺ или в пересчете на карбонат кальция 50 мг/100 г почвы: Са – 40, С – 12, О – 16 · 3 = 48; 40 + 12 + 48 = 100 : 2 = 50.

Норма СаСО₃ (чистого тонкоразмолотого и сухого, т/га), необходимая для нейтрализации Нг,

$$Д = \frac{Нг \cdot 50 \cdot 10 \cdot 3000000}{1000000000} = Нг \cdot 1,5,$$

- где: Нг – величина гидролитической кислотности, ммоль;
50 – количество мг СаСО₃, необходимое для нейтрализации 1 ммоль Н⁺;
10 – переводной коэффициент 100 г почвы в кг;
3 000 000 – масса пахотного слоя почвы, кг/га;
1 000 000 000 – переводной коэффициент из миллиграммов в тонны.

Если содержание действующего вещества в кальциевых удобрениях указано не в виде СаСО₃, а в форме СаО или Са(ОН)₂, то полученную величину (с учетом эквивалентной массы этих соединений) умножают на коэффициенты 0,56 и 0,74 соответственно.

Физическая норма вносимых кальциевых удобрений определяется с учетом содержания карбонатов (действующего вещества), а также их влажности и гранулометрического состава:

$$СаСО_3 = \frac{Д \cdot 100^3}{М(100 - в) \cdot (100 - п)},$$

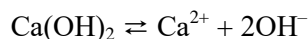
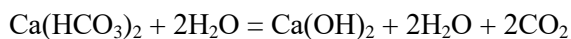
- где: Д – расчетная норма СаСО₃, т/га;
М – действующее вещество известкового удобрения, %;
в – содержание влаги, %;
п – содержание частиц крупнее 1 мм, %.

Основная масса кальциевых удобрений, используемых для мелиоративно-го известкования кислых почв, представлена карбонатом кальция, который

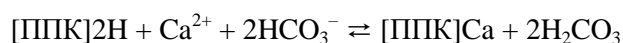
практически нерастворим в чистой воде. Растворимость CaCO_3 в воде, содержащей угольную кислоту, значительно повышается. Под влиянием углекислоты, находящейся в почвенном растворе, карбонат кальция постепенно превращается в растворимый гидрокарбонат кальция:



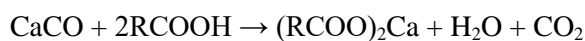
Гидрокарбонат кальция представляет собой гидролитически щелочную соль, которая при растворении в воде диссоциирует на ионы:



В почвенном растворе повышается концентрация катионов Ca^{2+} , которые вытесняют из почвенного поглощающего комплекса ионы водорода и кислотность нейтрализуется:



Карбонат кальция также нейтрализует свободные органические кислоты и азотную кислоту, образующуюся в процессе нитрификации:



При внесении кальциевых удобрений почва обогащается доступным для растений кальцием, кроме того, устраняется актуальная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, повышается степень насыщенности почвы основаниями. Мелиоративное известкование, устраняя кислотность, создает благоприятную среду для жизнедеятельности растений и почвенных микроорганизмов. Кальций, внесенный с известью, коагулирует почвенные коллоиды, улучшает структуру почвы и повышает ее водопрочность. После мелиоративного известкования улучшаются воздушный, водный и пищевой режимы, уменьшается возможность образования корки и облегчается обработка тяжелых почв. Снижается содержание в почве подвижных соединений алюминия и марганца, они переходят в неактивное состояние и не оказывают вредного влияния на растения.

На рубеже XX–XXI вв. в результате антропогенного воздействия произошло декарбонизация и подкисление оподзоленных почв и выщелоченных черноземов. Именно декарбонизация черноземов является своеобразным "пусковым механизмом" их деградации. Подкисление почвенного раствора, снижение величины суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими почвенного поглощающего комплекса, повышение величины гидролитической кислотности, потери органического вещества и ухудшение агрофизических параметров – не самостоятельные процессы, а следствие декарбонизации почв.

Декарбонизация и подкисление почвы происходят в результате выноса кальция растениями с урожаем и выщелачивания его из пахотного слоя осадками и оросительными водами в подпахотный горизонт. На увеличение кислотности почвы влияет также систематическое внесение физиологически кислых минеральных удобрений.

Главный источник потерь кальция из почвы – вымывание его с фильтрующимися водами. Везде, где годовые осадки превышают количество воды,

транспирируемой растениями и испаряющейся с поверхности почвы, часть воды будет просачиваться сквозь почву и, как следствие, будет теряться кальций. Потери этого элемента из почвы могут резко колебаться и зависят от количества выпавших осадков, степени просачивания влаги, гранулометрического состава почвы и ее кислотности, состава и норм применяемых удобрений, набора культур в севообороте и их урожайности. Потери кальция больше в почвах легкого гранулометрического состава, чем в – тяжелых. Средние ежегодные потери кальция из пахотного слоя почв в результате его вымывания колеблются примерно от 50 до 300 кг/га. Потери кальция в результате выноса растениями зависят от уровня урожайности культур севооборота. Примерно средний ежегодный вынос CaO с урожаем равен 40–80 кг/га, что соответствует 0,7–1,4 ц/га CaCO₃. Количество отчуждаемого с урожаем кальция бывает наименьшим в севооборотах, насыщенных зерновыми культурами, наибольшим – в овощных и кормовых.

Применение химически и физиологически кислых минеральных удобрений способствует увеличению содержания кальция в почвенном растворе и миграции его из пахотного слоя почвы. Наибольшее влияние на потери кальция с фильтрующимися водами оказывают азотные удобрения. Так, при внесении N₁₀₀ в форме сульфата аммония с пахотного слоя может вымываться примерно 250–290 кг/га CaO, а при внесении такого же количества азота в форме нитрата аммония – 70–90 кг/га. Потери кальция в результате вымывания увеличиваются при внесении физиологически кислых азотных удобрений совместно с калийными. При систематическом внесении этих удобрений изменяется состав промывных вод: увеличивается содержание соляной, серной и азотной кислот, уменьшается количество угольной кислоты, что способствует увеличению вымывания кальция. Для нейтрализации кислотности 1 ц сульфата аммония необходимо 1,25 ц CaCO₃; хлорида аммония – 1,4; нитрата аммония – 0,75; мочевины – 1,2; аммиачной воды – 0,5; безводного аммиака – 2,2; двойного суперфосфата – 0,1 ц CaCO₃.

Доля азотных удобрений, которая обеспечивается сульфатом аммония, сильно уменьшилась за последние годы, одновременно возросла доля высококонцентрированных удобрений. Поэтому общее подкисляющее действие азота, вероятно, уменьшилось в расчете на каждую тонну внесенного удобрения. Вместе с тем, в настоящее время общий объем применения минеральных удобрений значительно больше чем прежде. С удобрениями в почву увеличилось поступление, хлоридов и сократилось количество кальция, который поступал с суперфосфатом, вытесненным сейчас фосфатом аммония.

Исследования показывают, что потери кальция из почвы превышают его поступление. Дефицит баланса кальция в почве можно устранить, главным образом, в результате поддерживающего известкования, т.е. внесением кальциевых удобрений. Поддерживающее известкование следует рассматривать как перманентное применение кальция в земледелии, систему поддержания определенного положительного его баланса в пахотном горизонте на почвах, имеющих оптимальный уровень кислотности, при котором обеспечивается благоприятное соотношение между элементами питания растений в почвенном поглощающем комплексе. Особенно возрастает значимость этого фактора в интенсивном земледелии при возделывании новых высокоурожайных сортов.

Нормы кальциевых удобрений, установленные методом элементарного баланса, чаще всего находятся в пределах 200–800 кг/га. При определении нормы кальциевых удобрений необходимо принимать во внимание уровень

применения физиологически кислых минеральных удобрений и учитывать расход CaO на их нейтрализацию.

По способу получения кальциевые удобрения разделяют на три группы:

- промышленные (известняковая мука, гашеная известь);
- местные (известковый туф, доломитовая мука, гажа, мергель, мел, известковые торфы);
- отходы промышленности, содержащие кальций (металлургические шлаки: электроплавильные, доменные, мартеновские; дефекат; цементная пыль; зола; отход асбестовой промышленности: серпентиниты; отход сернорудной промышленности; отход свекольносахарного производства: дефекат).

По химическому составу известковые удобрения разделяют на пять групп:

- необожженные известняки содержат кальций в форме CaCO₃ (мел, молотый известняк, мергель, доломит);
- жженая или негашеная известь состоит в основном из CaCO₃ + Ca(OH)₂ (д.в. 60–75 %);
- гашеная известь содержит в качестве нейтрализующей составной части Ca(OH)₂.

– основные шлаки – отходы металлургической промышленности, содержат преимущественно силикаты кальция (доменный шлак, мартеновские шлаки).

– простые и комплексные кальциевые удобрения (кальбит С, кальциевая селитра, натриевая селитра, метафосфат кальция, суперфосфат, цианамид-кальция, известково-аммиачная селитра).

По содержанию магния различают кальциевые удобрения: не содержащие магния или бедные магнием и магниесодержащие.

Сведения по содержанию кальция в кальциевых удобрениях представлены в таблице 68.

Таблица 68 – Кальциевые удобрения

Удобрения	Основная составная часть	Сопутствующие соединения	Содержание, %	
			CaO	Ca
Молотый известняк	CaCO ₃	MgCO ₃	45	32,0
Мергель	CaCO ₃ , MgCO ₃	–	45	32,0
Доломит	CaCO ₃ , MgCO ₃	–	45	32
Жженая известь	CaO	MgO	75	53,5
Смесь гашеной или негашеной извести с известняком	CaO, CaCO ₃	MgO, MgCO ₃	60	45,0
Гашеная известь	Ca(OH) ₂	MgO	65	46,5
Доменные шлаки	Силикаты кальция	Силикаты магния	45	32,0

Источником кальция могут служить также и минеральные удобрения широко применяемые в сельском хозяйстве (табл. 69).

В известково-аммиачной селитре, цианамиде кальция, томасфосфате и термофосфатах содержатся легкодоступные для питания растений соединения кальция, действующие как основания, но вследствие малых количеств не имеющие существенного значения для нейтрализации почвенной кислотности.

В связи с наметившимся четко выраженным декальцированием почв кальций становится одним из дефицитных элементов в питании растений. Для положительного решения данной проблемы создано кальциевое удобрение: кальбит С.

Таблица 69 – Содержание кальция в минеральных удобрениях

Удобрения	Формула	Содержание кальция, %	Нейтрализующее действие
Известково-аммонийная селитра	CaCO_3	8–12	+
Цианамид кальция	$\text{CaCN}_2, \text{CaO}$	43	+
Суперфосфат	$\text{CaSO}_4, \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	19	–
Двойной суперфосфат	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	14	–
Термофосфаты	$\text{CaNaPO}_4, \text{CaSiO}_4$	29	+
Томасфосфатшлак	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$	28–32	+
Фосфоритная мука	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$	36	–
Кальциевая селитра	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	20	–
Метафосфат кальция	$\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	18	–
Дикальцийфосфат	CaHPO_4	23	–

Кальбит С – жидкое кальциевое удобрение; содержит 15 % CaO. Это удобрение предназначено для подкормки растений с целью предотвращения их заболевания на почвах, подверженных декальциванию: горькой ямчатости яблок, вершинной гнили плодов томата, сладкого перца, арбузов и дынь, побурения мякоти и развития сухой и мокрой бактериальных гнилей картофеля, краевого ожога листьев у дынь, салата-латука, цикория зимнего, трещин в плодах черешни, персика, нектарниках, сливы, мандаринах и некрозов стебля.

Некорневая подкормка растений кальбитом С:

Яблонь, груш	80–100 мл/гЛ ** через 20 дней после цветения, каждые 15–20 дней до предуборочной стадии
Косточковых	80–100 мл/гЛ каждые 15–20 дней после образования завязи
Овощей	200–300 мл/гЛ после цветения, три обработки каждые 15–20 дней до созревания
Декоративных	200–300 мл/гЛ каждые 15–20 дней
Винограда и киви	80–100 мл/гЛ после завязывания плода каждые 15–20 дней

Кальбит С не токсичен; совместим с большинством пестицидов, но его нельзя смешивать с фосфорными удобрениями.

7.2.2.3. Магниеые удобрения

Проблема удовлетворения потребности растений в магнии с каждым годом приобретает все большую актуальность. Это связано с вымыванием его из пахотного слоя почв просачивающимися осадками и отчуждением с урожаем сельскохозяйственных культур. Положение усугубляется значительным увеличением применения высококонцентрированных минеральных удобрений: среднее содержание дефицитных элементов питания растений (НРК) во всех удобрениях возросло с 22,1 % в 1950 г. до 55,3 % в 2000 г. Повышение содержания НРК в удобрениях в какой-то степени произошло и за счет очистки их от примесей магния.

* гЛ – гектолитр (100 л), исходя из расхода рабочего раствора 1000 л/га – для плодовых, 200 л/га – для овощей. Фертигация – 3–5 л/1000 м².

Потребность растений в магнии зависит от вида культуры и уровня урожая. Много выносят данного элемента (в пересчете на MgO) из почвы сахарная и кормовая свекла (60–70 кг/га), картофель, (40–60 кг/га), мало – зерновые культуры (10–14 кг/га) и злаковые травы (10–12 кг/га). Промежуточное место по выносу магния занимают люпин (20–40 кг/га) и бобовые травы (33–49 кг/га).

Потребность в магнии за ротацию севооборота в зависимости от выращиваемых культур колеблется в широких пределах. На легких почвах она составляет 65–270 кг/га. При увеличении в структуре посевных площадей таких культур, как зернобобовые, картофель и овощи, вынос магния из почвы повышается. Высокий вынос элемента отмечен в хозяйствах с большим удельным весом пропашных культур и посевов люпина.

Ионы магния при попадании в почвенный раствор сильно гидратируются, из-за чего слабо поглощаются почвой и легко вымываются атмосферными осадками. Потери этого элемента из почвы в результате вымывания составляют примерно 10–20 кг/га. Более высокими они бывают во влажные годы и на легких почвах, а также при интенсивном применении минеральных удобрений. Например, при внесении хлористого калия усиливаются потери магния с дренажными водами. Несколько меньше теряется этого элемента при внесении сульфата калия и простого суперфосфата. Резко уменьшается вымывание магния при замене простого суперфосфата двойным, что связано с отсутствием в последнем гипса. Общий баланс магния в почве отрицательный, и на легких почвах, бедных магнием, растения часто испытывают магниевое голодание.

Об обеспеченности растений магнием в течение вегетации можно судить по его содержанию в индикаторных органах (табл. 70; Прокошев В.В., Неугодова О.В., Смирнов Ю.А. и др. 1987).

При недостаточном и низком содержании магния в растениях необходимо вносить магниевые удобрения. Повышение уровня их обеспеченности выше оптимального не приводит к росту урожайности, т. к. при этом может усиленно развиваться вегетативная масса, с одновременным ухудшением продуктивной части. Для некоторых культур установлен избыточный уровень магния с визуальными признаками токсичности: для кукурузы он составляет >0,55 % (припочатковый лист), для люцерны >2,0 % (перед началом цветения), для сливы >1,1 % (листья, июль), для сои (фаза цветения) – 1,5 % сухой массы.

Основным визуальным признаком магниевого голодания растений является пятнистый некроз, при котором листья становятся пестрыми: участки между жилками бледнеют, но жилки сохраняют свою окраску. Из нижних старых листьев магний передвигается по жилкам к верхним, вследствие чего ткани, прилегающие к проводящей системе, богаче хлорофиллом и имеют более интенсивную зеленую окраску. Первые признаки недостатка магния появляются на нижних листьях, а при усилении дефицита распространяются и на верхние листья. Сильное и продолжительное магниевое голодание растений вызывает нарушение обмена веществ и отмирание тканей. В зависимости от вида растения окраска поврежденных участков листа между жилками может быть бледно-зеленой (картофель), светло-желтой (злаки, томаты, цитрусовые), желто-бурой (яблоня), оранжевой, красной или пурпурной (слива, персик, ягодные культуры), багряной (хлопчатник); у кукурузы пурпурно-красноватые пятна прерываются беловатыми хлоротическими и некротическими полосами. При очень теплой погоде у растений, страдающих от недостатка магния, появляются признаки увядания, такие же, как при недостатке калия.

Таблица 70 – Диагностические уровни содержания магния в растениях,
% сухой массы

Культура	Недостаточный	Низкий	Оптимальный	Высокий	Фаза отбора, часть растения
Овес	<0,07–0,08	0,08–0,17	0,18–0,37	>0,37	Трубкование, надземная часть
Ячмень	<0,05	0,05–0,20	0,20		»
Рожь	<0,09	0,09–0,29	0,30–0,60	>0,60	»
Пшеница	<0,10	0,10–0,20	0,21–0,40	>0,40	Кущение, надземная часть
Рис*	<0,40	0,40–0,60	0,61–0,70	>0,70	»
Кукуруза	<0,13	0,13–0,30	0,31–0,50	>0,50	Молодые растения
Картофель	<0,15	0,15–0,20	0,25–1,00		Цветение, верхние листья
Клевер	<0,16	0,16–0,20	0,21–0,60	>0,60	Начало цветения, надземная часть
Свекла	<0,05	0,05–0,24	0,25–1,0	>1,00	Смыкание рядков, листья
Томаты	<0,30	0,30–0,59	0,60–0,90	>0,90	Начало плодоношения, листья
Огурцы	<0,13	0,13–0,77	0,77–0,95	>0,95	Плодоношение, листья
Хлопчатник	<0,44	0,46–0,48	0,68–0,77	>0,77	Цветение, средние листья
Яблоня	<0,06–0,08	0,10–0,20	0,24–0,45	>0,45	Окончание роста побегов, листья
Смородина	<0,08	<0,08	0,18–0,30	>0,30	Созревание ягод (листья)
Цитрусовые	<0,16	0,16–0,25	0,25–0,42	0,42–0,66	Возраст 4–6 месяцев, листья

* дополнено А.Х. Шеудженом

Зерновые культуры, хоть и менее требовательны к обеспеченности почв магнием, больше страдают от его недостатка, чем технические и овощные культуры. Это связано с тем, что корневая система злаков располагается на небольшой глубине и слабо использует питательные вещества из подпахотного горизонта почвы.

Недостаток магния у растений проявляется, прежде всего, на почвах легкого гранулометрического состава: чем они легче, тем меньше в них содержится магния и тем острее потребность во внесении магниевых удобрений. Существенное влияние на питание растений магнием оказывает ионный состав почвенного раствора. При значительном преобладании одного или нескольких катионов – калия, аммония, натрия и кальция – ослабляется поступление магния в растения. Антагонистическое действие одновалентных катионов проявляется сильнее, чем влияние двухвалентного кальция. Натрий уменьшает поглощение магния натриелюбивыми культурами – свеклой, капустой, ячменем, люпином, льном. Кислая реакция почвы и обусловленное ею накопление в почвенном растворе алюминия и марганца также сильно ослабляют поглощение растениями магния. Питание растений нитратным азотом, наоборот, облегчает его использование из почвы. Потребность расте-

ний в магии увеличивается при использовании высоких норм минеральных удобрений, не содержащих этот элемент.

Внесение кальциевых удобрений (известкование) ускоряет процесс нитрификации аммонийного азота, переводит в неактивное состояние подвижные формы алюминия, улучшает питание растений магнием, но полностью не снимает вопрос об обеспеченности им растений на почвах с недостаточным количеством его усвояемых форм.

Растения нуждаются в магии в течение всей своей жизни. Наиболее чувствительны к его недостатку они в начале развития и в период плодоношения, поэтому магниевые удобрения следует вносить перед посевом. Меньшее влияние на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают магниевые удобрения, внесенные при появлении у растений признаков магниевых голодания. На нуждающихся в магии почвах его положительное действие на продуктивность культурных растений наблюдается как на низком, так и на высоком агротехническом фоне. Средний прирост урожайности от внесения магниевых удобрений составляет 20–25 %.

При определении норм магии необходимо принимать во внимание уровень планируемой урожайности, степень дефицита магии в почве, а также почвенную кислотность, количество вносимых калийных и аммонийных форм азотных удобрений. Надежным показателем, по которому можно судить о необходимости применения магниевых удобрений, является количество вытесняемого из почвы 0,025 н CaCl₂ магии, которое хорошо коррелирует с содержанием его в растении. На практике для определения содержания в почве доступного растениям магии широко используется также вытяжка 1 н KCl (табл. 71; Прокошев В.В., Неугодова О.В., Смирнов Ю.А. и др., 1987).

Таблица 71 – Группировка почв по обеспеченности магнием

Гранулометрический состав почвы	Вытяжка	Обеспеченность, мг/кг		
		низкая	средняя	высокая
Супесчаная	0,025 н CaCl ₂	<25	25–50	>50
	1 н KCl	<50	50–80	>80
Суглинистая	0,025 н CaCl ₂	<35	35–70	>70
	1 н KCl	<80	80–120	>120
Глинистая	0,025 н CaCl ₂	<60	60–120	>120
	1 н KCl	<120	120–220	>220

На песчаных и супесчаных почвах, а также на красноземах магниевые удобрения должны обязательно включаться в систему удобрения. Их нормы для различных культур неодинаковы. Для зерновых культур, льна и трав они составляют 20–25 кг/га, для картофеля и свеклы – 40–50 кг/га. На почвах влажных субтропиков под чай и цитрусовые вносят по 100–150 кг/га.

При расчете норм внесения магниевых удобрений следует учитывать поступление одноименного элемента с органическими удобрениями. Содержание магии в навозе составляет 0,08 % и в навозной жиже – 0,05 %.

На кислых почвах, если не вносят навоз, растворимые магниевые удобрения следует применять ежегодно. Из почв с реакцией, близкой к нейтральной, магний вымывается слабо, поэтому его вносят под магниелюбивые культуры. При этом обязательно следует учитывать поступление этого элемента в почву с органическим удобрением. При химической мелиорации почвы магниесо-

держащими известковыми удобрениями, растения полностью обеспечиваются данным питательным веществом на одну – две ротации севооборота.

Природные запасы пород и солей, содержащих магний, в России огромны. Для непосредственного применения и переработки на удобрения используют: 1) силикаты магния – дунит, серпентинит, оливинит; 2) карбонатные породы – доломит, магнезит; 3) сырые природные соли – каинит, карналлит, лангбейнит, полигалит, кизерит.

В ассортименте магниевых удобрений наиболее широко представлены известково-магниевые и калийно-магниевые удобрения. По степени растворимости они подразделяются на три группы:

– растворимые в воде – сырые соли и продукты их переработки: эпсомит (сульфат магния), каинит, карналлит.

– растворимые в лимонной кислоте: магниевый плавленный фосфат. Питательные элементы из этого удобрения хорошо усваиваются растениями.

– нерастворимые в воде: доломитовая мука, магнезит, вермикулит, серпентинит. Это тонко размолотые природные материалы или породы. Их используют для известкования кислых почв, т. к. при взаимодействии с кислым почвенным раствором из них высвобождается магний.

Магниевые удобрения могут быть *простыми* и *сложными*. Сложные удобрения содержат два и более элементов питания: азотно-магниевые, фосфорно-магниевые, калийно-магниевые, бор-магниевые, известково-магниевые. Производится удобрение, содержащее три элемента питания – магний-аммоний-фосфат.

7.2.2.3.1. Простые магниевые удобрения

Эпсомит (горькая соль) – минерал класса сульфатов, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. Обычны примеси Fe, Mn, Zn, и Ni. По происхождению – осадочный продукт выветривания. Эпсомит, применяемый в качестве удобрения, представляет собой белый кристаллический, хорошо растворимый в воде порошок. Удобрение не слеживается, хорошо высеивается. Содержит не более 8 % NaCl, не менее 84 % $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и 13,7 % MgO. Значительная часть магния эпсомита при внесении в почву из почвенного раствора переходит в обменное состояние. На песчаных почвах магний, содержащийся в эпсомите, может вымываться в грунтовые воды, поэтому его лучше вносить весной, перед посевом.

В настоящее время химическая промышленность в качестве магниевых удобрений выпускает чистую соль сульфата магния. В его состав входит 17 % – магния и 13,5 % – серы.

Применяют сульфат магния совместно с азотными и фосфорными удобрениями в качестве предпосевного при подготовке почвы. Вносят его под огурцы, томаты из расчета 7–10 г/м², под другие овощные и декоративные культуры – 12–15 г/м², под плодовые деревья сульфат магния применяют из расчета 30–35 г/м² приствольного круга. В течение вегетации проводят прикорневые подкормки раствором сульфата магния в количестве 25 г/10 л воды каждые 15–20 дней. Для некорневых подкормок используют рабочий раствор сульфата магния – 15 г/10 л воды. Расход удобрения: для овощных и однолетних цветочных культур 1–1,5 л/м²; малины, смородины и других кустарников 1,5–2 л/м²; плодовых деревьев – 2–3 л на молодое, 5–10 л раствора удобрения на взрослое дерево.

Кизерит $MgSO_4 \cdot H_2O$ – содержит 25–30 % магния. Характеризуется такими же свойствами, как эпсомит. Рекомендуется для применения в интенсивном земледелии в условиях дефицита магния на слабокислых и нейтральных поч-

вах. Кизерит также можно использовать на интенсивных лугах, в тепличных хозяйствах и в овощеводстве открытого грунта. Удобрение имеет большое значение в устранении определяемого визуально острого недостатка магния путем проведения некорневой подкормки вегетирующих растений. В почве большая часть магния из этого удобрения переходит в обменное состояние.

Дунит $[MgSiO_4, FeSiO_4]$ – содержит 41–47 % MgO , 35–39 % SiO_2 и 3–8 % FeO . В воде почти не растворяется, но разлагается под действием органических кислот. С почвенно-поглощающим комплексом дунит взаимодействует медленнее, чем известь. При внесении в кислую почву, он разлагается с выделением магния, что способствует уменьшению кислотности почвы и обогащению ее кремнием. На кислых почвах дунит вносят в количестве 500–1000 кг/га под зяблевую вспашку. Предварительное смешивание дунита с кислым торфом увеличивает его растворимость в почве. Целесообразно вносить под картофель, лен, люпин.

Серпентинит (магниевого змеевика) $Mg_3H_4Si_2O_9$ – содержит 32–43 % MgO . Труднорастворимое соединение. Применяют в тонкоизмельченном виде на кислых почвах. По сравнению с удобрениями, содержащими более подвижные формы магния, серпентинит необходимо вносить в повышенных нормах. В связи с этим, несмотря на высокое содержание магния, это удобрение можно рассматривать как местное.

Доломитовая мука $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ – продукт размола доломита. Содержит около 20 % MgO и 28 % CaO . Доломитовая мука класса А должна иметь остаток на сите с размером сторон ячеек в свету 0,25 мм не более 32 %, а класса Б – не более 60 %. Содержание суммы углекислых солей кальция и магния не менее 65 %. Объемная масса – 1,5 г/см³. Применяют удобрение для известкования кислых почв в количестве 1,5–3 т/га. Одновременно почва обогащается магнием в количестве, достаточном для питания растений в течение одной-двух ротаций севооборота. Доломитовую муку перевозят навалом всеми видами транспорта.

Магнезит $MgCO_3$ – карбонатная порода, состоящая из минерала магнезита с различными примесями, чаще всего в виде кварца и талька. В зависимости от примесей магнезит может иметь самый различный цвет – от белого до черного. Применяется как магниевое удобрение на кислых почвах. Норма внесения – 60–120 кг/га д.в.

Полубоженный доломит $CaCO_3 \cdot MgO$ – продукт обжига доломита. Содержит около 27 % MgO , 2 % CaO и 57 % $CaCO_3$. Магний этого удобрения хорошо доступен растениям. Используют его для известкования кислых почв.

Обоженный доломит – отход металлургического производства. Кальций и магний в обожженном доломите находятся в виде окисей, гидроокисей и карбонатов. Благодаря хорошей растворимости в воде он может применяться как поверхностное удобрение под травы. Обоженный доломит нельзя смешивать с аммонийными удобрениями, т. к. при их взаимодействии улетучивается аммиак.

Окись магния (жженная магнезия) MgO – получают при обжиге высокосортного магнезита. Из магнезита-сырца получают окись магния (магнезит каустический) трех классов с содержанием окиси магния соответственно не менее 87, 83 и 75 %. Упаковывают его в водостойкие мешки, которые помещают в мешки из прорезиненной ткани или другого водонепроницаемого материала. Перевозят навалом в крытых железнодорожных вагонах и хранят в сухом помещении.

Все разновидности окиси магния можно использовать в качестве магниевых удобрений. Окись магния растворяется в воде и уменьшает кислотность почвы, но для известкования почв не рекомендуется, т. к. большое количество магния на песчаных почвах может вызвать кальциевое голодание.

7.2.2.3.2. Сложные магниевые удобрения

Азотно-магниевые удобрения:

Аммошени́т (сульфат магния-аммония, азотомагнезия) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – двойная соль сульфата аммония и сульфата магния. Представляет собой кристаллический продукт от светло-коричневого до серого цвета. Применяется как азотно-магниевое удобрение; содержит не менее 7 % N и 10 % MgO. Растворимость аммошени́та в воде небольшая – 18 г/л. Магний удобрения хорошо усваивается растениями. Упаковывают аммошени́т в водонепроницаемые мешки с тремя бумажными слоями, пропитанными битумом.

Доломит-аммонийная селитра $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ – механическая смесь доломитовой муки и аммонийной селитры в соотношении (по весу) 1:1, приготовляемая непосредственно в хозяйствах. Не подкисляет почву, содержит 17 % N, 10 %, MgO и 14 % CaO. Вносится в нормах, рекомендованных для азотных удобрений. За рубежом изготавливают сплав из этих двух удобрений в виде гранулированного продукта.

Фосфорно-магниевые удобрения:

Магний-аммоний-фосфат (МАФ). Концентрированное удобрение, содержащее три элемента питания: 10,9 % N; 45,7 % P_2O_5 ; 25,9 % MgO. Фосфор находится в лимоннорастворимой форме, поэтому хорошо доступен растениям, но вносить его надо в виде порошка. Азот в этом удобрении находится в нерастворимой в воде форме, поэтому его можно вносить заблаговременно как основное удобрение, в т. ч. на орошаемых почвах и в условиях избыточно влажного климата. При норме 45–60 кг/га по P_2O_5 вполне удовлетворяются потребности растений и в магнии.

Плавленый магниевый фосфат (ПМФ) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{MgSO}_4 \cdot \text{SiO}_3$. Побочный продукт металлургии, содержит в усвояемой форме 19–21 % P_2O_5 , 8–14 % MgO. Описан в разделе "Фосфорные удобрения". Высокоэффективное удобрение при основном внесении на всех типах почв.

Димагнийфосфат $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – содержит 10,9 % азота, 45,7 – фосфора и 25,9 % магния.

Дунитовый суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{MgHPO}_4$ – содержит 16 % фосфора, 24 – кальция и 4 % магния.

Калийно-магниевые удобрения:

Каинит $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – минерал с большой примесью NaCl (составляет 45–47 % от общей массы). В нем содержится 10–12 % K_2O , 22–25 – Na_2O ; 6–7 – MgO, 15–17 – S_2O_3 и 32–35 % Cl. Удобрение неконцентрированное, поэтому в настоящее время применяется в основном на лугах и пастбищах, где оно часто имеет преимущество перед хлористым калием благодаря наличию в нем магния.

Калимагнезия $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Представляет собой полупродукт переработки каинита для получения сульфата калия. Содержит 8–10 % MgO и 28–30 % K_2O . Описана в разделе "Калийные удобрения".

Вермикулит (гидрослода) – содержит 14–30 % MgO и до 5 % K_2O . Небольшая часть магния (1,3–1,7 % массы минерала) находится в обменном виде и доступна для растений, остальная часть разлагается под воздействием почвенной кислоты.

Калийно-магниевый концентрат получают из каинитолангбейнитовой руды методом флотации. В состав удобрения входит в основном минерал лангбейнит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$, а также в небольшом количестве полигалит, га-

лит и гипс. В среднем он содержит 30–38 % K_2SO_4 , 39–40 – $MgSO_4$, 4–5 – KCl и 8–10 % $NaCl$. Калийно-магниевый концентрат выпускают двух сортов: в первом – содержится не менее 19 % K_2O и 9 % MgO , во втором – менее 17,5 % K_2O и 8 % MgO , с влажностью не более 5 %. Количество хлора не нормируется, но в удобрении первого сорта его содержится не более 8 %.

Полигалим $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Содержит 8–12 % MgO и до 11 % K_2O . В воде растворяется медленно, но и калий, и магний этого удобрения хорошо доступны растениям.

Хлоркалий-электролит KCl , $MgCl$, $NaCl$ – содержит 40 % калия и 1 % магния. Описан в разделе "Калийные удобрения".

Карналлит KCl , $MgCl_2 \cdot 3H_2O + NaCl$ – содержит 16 % калия и 14 % магния. Является одним из главнейших минералов в калийных соляных месторождениях.

Важным источником пополнения содержания обменных форм почвенного магния, а, следовательно, улучшения питания растений этим элементом являются органические удобрения. Систематическое их внесение заметно увеличивает накопление поглощенного магния в почве, что приводит к росту урожаев сельскохозяйственных культур севооборота, особенно на дерново-подзолистых, песчаных и супесчаных почвах. Применение навоза снижает эффективность минеральных форм магниевых удобрений, что подтверждает важную роль его как источника магниевого питания растений. Однако применение одних лишь органических удобрений, даже в достаточно высоких нормах, не позволяет продолжительное время поддерживать содержание магния в почве на необходимом уровне. С полужидким навозом крупного рогатого скота в количестве $40 \text{ м}^3/\text{га}$, или птичьим пометом – $20 \text{ м}^3/\text{га}$, или с подстилочным навозом – $30 \text{ т}/\text{га}$ в почву вносится $40 \text{ кг}/\text{га}$ магния. Средние же годовые нормы внесения магния на почвах легкого гранулометрического состава с учетом их низкой обеспеченности этим элементом и необходимости увеличения запасов в почве должны превышать потери магния на $100\text{--}110 \text{ кг}$. На супесчаных почвах в условиях дефицита магния максимальные урожаи могут быть получены при совместном применении органических удобрений и минеральных форм магния.

7.2.2.4. Серные удобрения

Сера по своему физиолого-биохимическому значению в жизнедеятельности растений находится в одном ряду с азотом, фосфором и калием. Тем не менее, при разработке системы удобрений до последнего времени вопросам питания растений серой не придавали особого значения, т. к. в составе применяемых удобрений содержалось большое ее количество как сопутствующего элемента. Практически до 70-х гг. XX столетия общий баланс серы в земледелии Российской Федерации был положительным. В последние годы в отдельных регионах страны в результате освоения интенсивных систем земледелия наблюдается проявление серной недостаточности. Дефицит серы в почве возник в связи с увеличившимся ее выносом возросшими урожаями, а также вследствие сокращения поступления элемента в составе неконцентрированных удобрений. Недостаток серы в почвах вызван также уменьшением ее поступления в атмосферу за счет сокращения использования богатого серой каменного угля. Определенная роль также принадлежит мероприятиям по охране окружающей среды, в частности очистке дымовых газов на промышленных предприятиях и тепловых электростанциях. Значительно сократилось использование серы как средства борьбы с вредителями и болезнями растений.

Сельскохозяйственные культуры содержат неодинаковое количество серы и, соответственно, испытывают разную потребность в ней, обусловленную, прежде всего, биологическими особенностями растений, фазой их развития, а также ее содержанием в почве и атмосфере (табл. 72; Кардиналовская Р.И., 1984). Наибольшее количество серы содержится в растениях семейства капустовых, затем – лилейных, бобовых, пасленовых. С урожаями сельскохозяйственных культур ежегодно из почвы серы выносятся 10–20 кг/га. Вынос серы определяется ее содержанием в растениях и величиной урожая. Растения, принадлежащие к семейству капустовых и лилейных, выносят с урожаями больше серы, чем злаки.

Сера поступает в растения главным образом из почвы исключительно в минеральной форме, в виде сульфатов. Запасы сульфатной серы в пахотном слое составляют на дерново-подзолистой почве 30–90 кг/га, на почвах лесостепной зоны 60–120, на черноземах 150–250 кг/га.

Обеспеченность почв доступными растениям соединениями серы оценивают с помощью 1,0 н КСI вытяжки: низкое <6 мг/кг, среднее 6–12, высокое >12 мг/кг почвы. К низкообеспеченным серой относятся большинство серых лесных, подзолистых и дерново-подзолистых почв, общая площадь которых составляет около 25 % всех сельскохозяйственных угодий страны. Наиболее низкие серные ресурсы имеют почвы легкого гранулометрического состава. Наряду с этим низкое содержание доступной растениям серы отмечено в некоторых типах черноземов.

Значительную часть серы растения могут усваивать и через листья в виде сернистого газа. Сера поступает в атмосферу с газами во время вулканических извержений, с сероводородом, выделяющимся при разложении органических веществ на болотах и лиманах, с водяной пылью, поднимающейся над морскими бассейнами. В наибольшем количестве она поступает в атмосферу с газами и пылью, которые образуются при сжигании различных видов топлива, а также с выбросами химических и металлургических заводов. Общее поступление серы в атмосферу достигает 142 млн. т в год, из них 44 млн. т поднимается с водяной пылью над морскими бассейнами и 30 млн. т образуется при разложении органического вещества на болотах и лиманах. Около половины серы, поступающей в атмосферу, имеет антропогенное происхождение. Основное количество этого элемента в атмосфере находится в форме сернистого газа (SO_2), который в 2 раза тяжелее воздуха и не переносится на большие расстояния. В связи с этим он концентрируется в районах размещения промышленных предприятий и теплоэлектростанций. Содержание серы в атмосфере вблизи крупных промышленных городов в 2–3 раза превышает ее концентрацию в сельской местности.

Оптимальное содержание SO_2 в атмосфере для большинства растений составляет 0,2 мг/м³ воздуха. Критической для клевера является концентрация SO_2 в воздухе, равная 0,2–0,25 мг/м³ для зерновых, бобовых и земляники – 0,25–0,3, свеклы, рапса и капусты – 0,3–0,4 мг/м³ воздуха. Растения способны удовлетворить практически третью часть своей потребности в сере из атмосферы через листья.

Наиболее точное представление об обеспеченности сельскохозяйственных растений серой дают балансовые расчеты, которые позволяют составлять прогнозы о необходимом уровне применения удобрений. Эти расчеты основаны на определении приходных и расходных статей баланса, в которые соответственно входят поступление серы из источников серного питания и вынос этого элемента из почв с урожаями и в результате вымывания.

Таблица 72 – Содержание серы в растениях и вынос ее урожаями сельскохозяйственных культур

Культура	Вид продукции	Урожайность, ц/га	Содержание серы, % сухой массы	Хозяйственный вынос серы, кг/га
Мятликовые				
Пшеница	Зерно	25,0–40,1	0,09–0,24	} 7,6–13,0
	Солома	–	0,09–0,23	
Ячмень	Зерно	25,3–35,8	0,07–0,26	} 7,7–14,9
	Солома	–	0,15–0,48	
Овес	Зерно	30,0–35,8	0,13–0,34	} 5,1–6,5
	Солома	–	0,17–0,26	
Кукуруза	Зерно	60,0–65,0	0,15–0,17	} 9,0–18,0
	Стебли и листья	–	0,19	
Рис*	Зерно	60–70	0,08–0,17	} 8,0–16,0
	Солома	–	0,17–0,27	
Бобовые				
Горох	Зерно	12,8–23,0	0,22–0,23	5,7–34,2
Люцерна	Сено	50,0–100,0	0,10–0,56	8,0–30,0
Клевер	Сено	40,0–100,0	0,14–0,29	15,0–30,0
Маревые				
Свекла: – столовая	Корнеплоды	651,0	0,14	} 25,0
	Листья	–	0,49	
– сахарная	Корнеплоды	350,0–540,0	0,06–0,42	} 15,0–30
	Листья	–	0,14–0,97	
Пасленовые				
Картофель	Клубни	170,0–230,0	0,10–0,30	} 9,0–37,0
	Ботва	–	0,15–0,50	
Зонтичные				
Морковь	Корнеплоды	540,0–590,0	0,15–0,24	} 20,0
	Листья	–	0,40	
Луковые				
Лук	Луковицы	150,0–350,0	0,26	} 18,0–30,0
	Листья	–	0,65	
Чеснок	Луковицы	215,0	0,80	} 107,0
	Листья	–	0,34	
Капустовые				
Капуста	Кочаны	250,0–1053,0	0,70–1,53	30,0–134,0
Резьба	Корнеплоды	457,0–500,0	0,48	30,0–40,0
	Ботва	–	0,73	–
Турнепс	Корнеплоды	200,0–400,0	0,56	} 28,0–64,0
	Ботва	–	0,75	
Брюква	Корнеплоды	581,0– 764,0	0,36–0,58	} 38,0–79,0
	Ботва	–	0,59–0,92	
Горчица	Семена	–	0,70–1,70	} 14,1–36,2
	Надземная масса	10,0–16,2	0,28–0,32	

* дополнено А.Х. Шеудженом

В почву сера поступает из атмосферы в составе осадков, пыли и путем адсорбции непосредственно из воздуха. В Европейской части России с атмосферными осадками серы выпадает 5–10 кг/га, а в отдельных районах – до 15–17, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке – 2–3 кг/га, а вблизи крупных промышленных центров до 25–45 кг/га. Основная часть атмосферной серы поступает со снегом в зимний период и в значительном количестве выносится весной талыми и промывными водами.

Запасы серы в почвах могут пополняться и за счет ее поступления с органическими удобрениями. Однако поступление серы с органическими удобрениями в большинстве случаев не приводит к существенному улучшению обеспеченности почвы этим элементом, т. к. различные виды этих удобрений в основном содержат ее менее 0,2 % сухого вещества. С минеральными удобрениями серы вносится 8–12 кг/га. Анализ ассортимента удобрений в Российской Федерации показывает, что количество серы в них не только не увеличивается, но даже уменьшается.

В орошаемом земледелии определенное количество серы поступает в почву с поливными водами, но в большинстве случаев оно не превышает 5–10 кг/га.

При балансовых расчетах необходимо учитывать, что значительное количество серы может вымываться с дренажными водами, мигрировать по профилю почвы до грунтовых вод, т. к. анион SO_4^{2-} слабо поглощается почвой, особенно легкой по гранулометрическому составу. Ежегодно из почвы вымывается 15–25 кг/га серы.

Нормы внесения серных удобрений зависят от биологических особенностей сельскохозяйственных культур, запрограммированного урожая, плодородия и гранулометрического состава почвы, содержания серы в атмосфере и поливных водах. В большинстве случаев они составляют: для зерновых колосовых и кукурузы – 20–30 кг/га, сахарной свеклы и картофеля – 50–70, рапса и многолетних бобовых трав – 50–90 кг/га.

При использовании серных удобрений следует учитывать содержание серы в растениях и отношение N:S в протеине, по которому можно судить об обеспеченности этим элементом. Критическое содержание серы в семенах пшеницы составляет 0,17 %, риса – 0,23 %, клубнях картофеля – 0,11 %, листьях клевера – 0,11–0,32 %, люцерны – 0,2 %, хлопчатника в фазу бутонизации – 0,5 %. Критическое отношение N:S в семенах пшеницы – 14,8, риса – 12,6, ячменя – 13,1–16,4, клевера – 15–18,5.

Визуальные признаки серной недостаточности у растений очень напоминают симптомы азотного голодания. В сельскохозяйственной практике это часто приводит к ошибкам в диагностике, завышению норм азотных удобрений и недобору урожая. Отличие состоит в том, что при недостатке азота желтеют и отмирают нижние более старые листья, а при серной недостаточности поражаются точки роста растений, более молодые верхние листья становятся бледно-зелеными, окраска жилок листа приобретает светлый оттенок. Визуальные симптомы недостатка серы у растений могут быть зафиксированы уже через 2–3 недели после появления всходов. Дефицит серы в минеральном питании растений приводит к их морфологическим изменениям: более мелкому размеру листьев, слабому развитию корневой системы, укороченности и одревеснению стеблей.

Вносят серные удобрения под зяблевую вспашку или предпосевную обработку почвы. При дефиците серы часто проводят рядковое внесение серных удобрений и некорневую подкормку вегетирующих растений 0,5–2 %-ным водным раствором сульфатов.

При удовлетворении потребностей растений в азоте, фосфоре и калии большинство сельскохозяйственных культур хорошо отзывается на улучшение питания серой. Прибавки урожайности от внесения серных удобрений составляют: зерна озимой пшеницы – 2–4 ц/га, озимой ржи – 1,5–3,0, ячменя – 2–3 овса – 1,5, сена клевера – до 15, клубней картофеля – до 30, корней брюквы – 30–50, турнепса – до 30, зеленой массы кормовой капусты до – 40 ц/га. При применении серных удобрений повышается качество продукции.

В нашей стране специальные серные удобрения не производятся. Однако серу содержат многие минеральные макро-, мезо- и микроудобрения, органические удобрения, химические мелиоранты почв и отходы промышленности (табл. 73).

Таблица 73 – Содержание серы в удобрениях, мелиорантах и отходах промышленности

Удобрение, мелиорант или отходы промышленности	Содержание серы, %
Минеральные удобрения	
Простой суперфосфат	9–13
Сульфат аммония	23–24
Сульфат калия	17–18
Сульфат магния	18,6
Сульфат натрия	22,6
Сульфат калия-магния	18,3
Сульфат марганца	14–17
Сульфат железа	11,5
Сульфат меди	12,8
Сульфат цинка	17,8
Органические удобрения	
Навоз	0,02–0,06
Компосты	0,02–0,04
Химические мелиоранты и отходы промышленности	
Доломит	0,01–0,06
Гипс	13–18
Фосфогипс	17,7–20,7
Раздольские известково-серные удобрения	5,0–9,1
Сланцевая зола	1,6–2,9

В качестве серных удобрений в земледелии используют гипс, фосфогипс, а также элементарную серу. Их эффективность зависит от обеспеченности растений азотом: чем она выше, тем в большей степени растения отзываются на применение серных удобрений. Гипс и элементарная сера сильнее влияют на продуктивность культурных пастбищ при увеличении содержания азота в составе полного удобрения.

Элементарная сера (S) как удобрение в стране применяется мало. Она становится доступной растениям после перевода ее микроорганизмами в сульфатную форму. Скорость этого процесса зависит от тонины помола удобрения и почвенно-климатических условий. Элементарная сера слабее выщелачивается из пахотного слоя почвы и отличается более длительным последствием по сравнению с гипсом и другими удобрениями, содержащими сульфаты.

Фосфогипс выпускается как побочный продукт при производстве двойного суперфосфата. Может служить серным удобрением местного значения. Его хи-

мический состав зависит от фосфатного сырья и в среднем включает 42,3–51,6 % SO_3 ; 31,5–37,2 – CaO ; 0,5–3,5 – общего P_2O_5 ; 0,2–3,0 – водорастворимого P_2O_5 ; 0,2–0,6 – Al_2O_3 ; 0,1–0,3 – Fe_2O_3 ; 0,1–0,4 % F. Недостатком фосфогипса является высокая влажность (30–35 %), значительная примесь фтора и стронция, поэтому при его применении в качестве удобрения необходимо постоянно контролировать накопление этих элементов в почве, растениях и продукции, не допуская превышения предельно допустимой концентрации.

Гипс (сульфат кальция) в настоящее время применяется как мелиорирующее средство на засоленных почвах. Является серным удобрением, содержащим серу в сульфатной форме, а также кальциевым удобрением.

Гипс и фосфогипс рекомендуется вносить под клевер и озимые зерновые ранней весной поверхностно в норме 300 кг/га, а под яровые – то же количество под предпосевную культивацию. Норму гипса (фосфогипса) под картофель, корнеплоды, кукурузу, крестоцветные следует увеличить до 500–600 кг/га и вносить также под предпосевную культивацию или перепашку зяби.

7.2.3. Микроудобрения

Интенсивная система земледелия с культивированием наиболее продуктивных сортов, внесением высококонцентрированных безбалластных азотно-фосфорно-калийных удобрений привела к снижению содержания доступных растениям форм микроэлементов в почвах и, как следствие, к необходимости широкого применения микроудобрений, т.е. удобрений, действующим веществом которых являются микроэлементы. В Российской Федерации и странах ближнего зарубежья во внесении борных удобрений нуждается до 59,5 % пахотных земель, кобальтовых – 90,8, марганцевых – 41,3, медных – 64,5, молибденовых – 75,3, цинковых – 83,0 %. Потребность этих государств в борных удобрениях в данный момент составляет 12350 т, кобальтовых – 310, марганцевых – 11550, медных – 8740, молибденовых – 2100, цинковых – 7450 т в пересчете на элемент. Эти расчеты произведены на основании агрохимических анализов почв и сложившегося на данном этапе уровня урожайности основных сельскохозяйственных культур. При дальнейшем повышении продуктивности культурных растений потребность в микроудобрениях будет возрастать.

Необходимость внесения микроудобрений устанавливается по содержанию подвижных форм микроэлементов в почве, которое определяется характером материнских пород и растительностью, типом и биологической активностью почвы (табл. 74; Куркаев В.Т., Шеуджен А.Х., 2000).

Таблица 74 – Содержание в почвах доступных растениям форм микроэлементов, мг/кг (экстракты по Пейве-Ринькису)

Почвы	B	Co	Mn	Cu	Mo	Zn
Дерново-подзолистые	0,08–0,38	0,12–3,0	50–150	0,05–5,0	0,04–0,97	0,12–20,0
Черноземы	0,38–1,58	1,10–2,2	1,0–75	4,5–10,0	0,02–0,33	0,10–0,25
Сероземы	0,23–0,62	0,90–1,5	1,5–125	2,5–10,0	0,03–0,15	0,09–1,12
Каштановые	0,30–0,90	0,10–6,0	1,5–75	8,0–14,0	0,09–0,62	0,06–0,14
Бурые	0,38–1,95	0,57–2,25	1,5–75	6,0–12,0	0,06–0,12	0,03–0,20

Доступные растениям (подвижные) формы микроэлементов в почве подразделяются на *слабоподвижные*, которые определяются в вытяжках сильных кис-

лот; *среднеподвижные*, извлекаемые растворами слабых кислот, а также щелочей и кислотными буферами; *легкорастворимые*, определяемые в водных и углекислотных вытяжках. Важно, чтобы избранная вытяжка при определении подвижной формы того или иного микроэлемента в наибольшей степени соответствовала усвояющей способности корневой системы конкретного растения и объективно отражала степень нуждаемости данного растения в микроудобрении.

Определяющим критерием суждения об обеспеченности почв элементами питания растений, в т. ч. и микроэлементами, является полевой опыт. В нем экспериментально устанавливается соответствие между содержанием в почве подвижных форм элементов, их количеством в растениях и выносом с урожаем, а также соответствие между запасом элемента в почве и эффективностью удобрений. Существует дифференцированный подход к выбору методов определения подвижных форм микроэлементов в почве в зависимости от ее типа, свойств и агрохимической характеристики.

Для почв дерново-подзолистого типа наиболее широкое распространение нашла система вытяжек, предложенная Я.В. Пейве и Г.Я. Ринькисом. Ацетатно-аммонийный буферный раствор с рН 4,8, предложенный Н.К. Крупским и А.М. Александровой, используют при анализе черноземов, каштановых и серых лесных почв для определения подвижных форм марганца, меди, кобальта и цинка. Бор во всех почвах определяют в водной вытяжке, молибден извлекают оксалатным буферным раствором с рН 3,3 по Дж. Ц. Григгу.

По обеспеченности отдельными микроэлементами и потребности в применении микроудобрений почвы делятся на три группы: низко-, средне- и высокообеспеченные (табл. 75; Куркаев В.Т., Шеуджен А.Х., 2000).

Таблица 75 – Группировка почв по обеспеченности растений микроэлементами, мг/кг

Обеспеченность	B	Co	Mn	Cu	Mo	Zn
Экстракты по Пейве-Ринькису						
Низкая 1	<0,1	<0,3	<15	<0,5	<0,05	<0,3
Средняя 1	0,1–0,3	0,3–1	15–30	0,5–1,5	0,05–0,15	0,3–1,5
Высокая 1	>0,3	>1	>30	>1,5	>0,15	>1,5
Низкая 2	<0,3	<1	<45	<2	<0,2	<1,5
Средняя 2	0,3–0,5	1–3	45–70	2–4	0,2–0,3	1,5–3
Высокая 2	>0,5	>3	>70	>4	>0,3	>3
Низкая 3	<0,5	<3	<100	<5	<0,3	<3
Средняя 3	0,5–1	3–5	100–150	5–7	0,3–0,5	3–5
Высокая 3	>1	>5	>150	>7	>0,5	>5
Экстракты по Крупскому–Александровой						
Низкая 1	<0,1	<0,07	<5	<0,1	<0,05	<1
Средняя 1	0,1–0,3	0,07–0,15	5–10	0,1–0,2	0,05–0,15	1–2
Высокая 1	>0,3	>0,15	>10	>0,2	>0,15	>2
Низкая 2	<0,3	<0,15	<10	<0,2	<0,2	<2
Средняя 2	0,3–0,5	0,15–0,30	10–20	0,2–0,5	0,2–0,3	2–5
Высокая 2	>0,5	>0,3	>20	>0,5	>0,3	>5
Низкая 3	<0,5	<0,3	<20	<0,5	<0,3	<5
Средняя 3	0,5–1	0,3–0,7	20–40	0,5–1	0,3–0,5	5–10
Высокая 3	>1	>0,7	>40	>1	>0,5	>10

Примечание: 1 – для растений с невысоким выносом микроэлементов;
2 – для растений с повышенным выносом микроэлементов;
3 – для растений с высоким выносом микроэлементов.

Культурные растения различаются по требовательности к микроэлементам. Картофель, зерновые и зернобобовые растения относятся к культурам невысокого выноса микроэлементов и сравнительно высокой усваивающей способности. К культурам повышенного выноса микроэлементов с высокой и средней усваивающей способностью относятся корнеплоды, овощи, подсолнечник, хлопчатник, многолетние и однолетние кормовые травы, плодовые деревья и виноградники. В условиях орошаемого земледелия и возделывания перечисленных культур по интенсивной технологии вынос микроэлементов из почвы возрастает.

Группировка почв по обеспеченности одних и тех же растений микроэлементами, извлекаемыми из почв ацетатно-аммонийным раствором и вытяжками Пейве-Ринькиса, не совпадают. Это связано с различным количеством микроэлементов, извлекаемых из почв этими экстрагентами. Так, содержание подвижного марганца в почвах, извлеченного ацетатно-аммонийным раствором с рН 4,8, в среднем в 3–4 раза меньше, чем в вытяжке 0,1 н H_2SO_4 ; содержание цинка, наоборот, в ацетатно-аммонийной вытяжке в 2–4 раза больше, чем в 1 н растворе KCl ; меди и кобальта буферным раствором извлекается мало, в среднем в 6–8 раз меньше, чем 1 н HCl и 1 н HNO_3 .

Необходимо также отметить, что следует проявлять осторожность при оценке обеспеченности почв усвояемыми формами микроэлементов и разработке на их основе практических рекомендаций, т. к. содержание подвижных форм микроэлементов значительно изменяется в зависимости от времени взятия образца. Эти колебания могут быть настолько значительными, что в разные сроки вегетационного периода одна и та же почва может оказаться хорошо и слабо обеспеченной усвояемыми формами микроэлементов.

Внесение микроудобрений на почвах с низкой обеспеченностью микроэлементами позволяет повысить урожайность на 10–15 %. При возделывании интенсивных сортов применение микроудобрений высокоэффективно не только на почвах с низкой обеспеченностью, но и средне обеспеченных одноименным микроэлементом. Однако при решении вопроса о внесении микроудобрений необходимо помнить, что оно может дать ожидаемый результат лишь при высокой культуре земледелия. Здесь уместно напомнить слова Д.И. Менделеева, который еще в начале развития производства и применения минеральных удобрений требовал их вносить на фоне общего высокого уровня агротехники: "Я восстаю против тех, кто печатно и устно проповедают, что все дело в удобрениях, что, хорошо удобрявая почву, ее можно кое-как пахать".

При недостатке в почвах доступных форм микроэлементов наблюдаются специфические заболевания культур, вследствие чего они дают низкий и неполноценный по качеству урожай. В частности, такие болезни растений, как бактериоз льна, сердцевинная гниль и дуплистость сахарной свеклы, пробковая пятнистость яблок, "болезнь обработки", "белая чума", "болезнь верещатников" и пустозерность злаков, серая пятнистость овса, розеточная болезнь плодовых, а также различные хлорозные заболевания являются следствием острого недостатка в почве тех или иных микроэлементов. Существуют целые геохимические провинции, где недостаток микроэлементов в почве связан с отсутствием их в материнской породе.

Применение микроудобрений ограничивает вредоносность фитофагов и повышает устойчивость культурных растений к болезням (табл. 76; Куркаев В.Т., Шеуджен А.Х., 2000). Борные, молибденовые, медные и цинковые удобрения снижают вредоносность ржавчины, полиспороза, антракноза. Ко-

бальтовые и марганцевые удобрения эффективны в борьбе с мучнистой росой зерновых культур и фитофторозом томатов. Предпосевная обработка семян гороха молибденом, цинком и кобальтом способствует снижению численности личинок клубеньковых долгоносиков. Марганец, медь и бор повышают устойчивость зерновых культур к гессенской мухе.

Таблица 76 – Влияние микроэлементов на физиологическую устойчивость растений к болезням и вредителям

Болезни	B	Co	Mn	Cu	Mo	Zn
Бурая ржавчина зерновых культур	+			+		
Корончатая ржавчина овса	+					
Стеблевая ржавчина зерновых культур			+			
Мучнистая роса зерновых культур	+	+	+			
Бактериоз и ржавчина льна	+					
Ржавчина подсолнечника	+			+	+	
Фомоз свеклы	+					
Ложная мучнистая роса свеклы	+		+	+		+
Фитофтороз картофеля	+		+	+		
Бурая пятнистость томатов	+		+			+
Белая пятнистость томатов	+			+		
Фитофтороз томатов		+	+	+	+	
Бактериоз капусты		+		+		+
Мучнистая роса капусты						+
Мучнистая роса крыжовника				+	+	

С целью снижения вредоносности гельминтоспориоза зерновых культур рекомендуется марганец; вертициллеза хлопчатника – бор, медь; корневой гнили хлопчатника – марганец; фузариозного увядания хлопчатника – цинк; корнееда свеклы – цинк; ризоктониоза картофеля – медь, марганец; фитофтороза картофеля – медь, молибден, марганец; черной ножки картофеля – медь, марганец; вертициллеза картофеля – кобальт; килы капусты – марганец, бор; фомоза моркови – бор; черного рака яблони – бор, марганец; серой гнили клубники – марганец.

Во всех случаях наибольшая эффективность микроэлементов в защите растений от фитопатогенов проявляется при внесении их на фоне полного минерального удобрения.

Влияние микроудобрений на фитосанитарное состояние агроэкосистем возможно в нескольких направлениях: повышение физиологической устойчивости и выносливости (адаптивности) растений к инфекциям и инвазиям; снижение репродуктивной способности вредных организмов в растениях-хозяевах; замедление скорости передачи возбудителей на второй фазе в период пребывания их на инфицированных растительных остатках и, особенно на третьей – при внедрении в здоровые растения-хозяева; изменение анатомических и гистологических показателей (толщины кутикулы и эпидермиса), обуславливающих образование у растений защитных (корковых) слоев и фитоалексинов; изменение скорости роста и прохождения фаз в онтогенезе растений, определяющей совместимость взаимодействия возбудителя и растения в критические периоды формирования урожая.

Несмотря на высокую эффективность от внесения микроудобрений, нельзя допускать беспорядочного их применения, т.к. это может привести к накоплению в почве токсичных количеств тяжелых металлов. Чтобы этого не случилось,

необходимо периодически вести наблюдения за интенсивностью биологического поглощения растениями микроэлементов при их включении в систему удобрения сельскохозяйственных культур. Интенсивность биологического поглощения характеризуется коэффициентом (КБП), равным отношению содержания элемента в золе растения к содержанию его в почве, и вычисляется по формуле:

$$\text{КБП} = \frac{C_p}{C_{\text{п}}},$$

где: C_p – содержание элемента в золе растения, мг/кг;
 $C_{\text{п}}$ – валовое содержание его в почве, мг/кг.

КБП изменяется от 0,001 до 100. По величине этого коэффициента химические элементы, поглощаемые растениями, делятся на три группы: энергично накапливаемые (КБП = 10–100); сильно накапливаемые (КБП = 1–10); слабо накапливаемые (КБП = 0,1–1,0). Большинство микроэлементов относятся к группе энергично и сильно накапливаемым.

При применении микроудобрений помимо запасов микроэлементов в почве и генетико-сортовых особенностей культур необходимо учитывать их количество, вносимое с органическими и минеральными удобрениями (табл. 77; Городний Н.М., 1990). В составе мочевины и аммиачной селитры присутствуют лишь незначительные количества микроэлементов. Мало содержится их в двойном суперфосфате и хлористом калии. Эти высококонцентрированные минеральные удобрения не могут стать существенным источником питания растений микроэлементами. Однако с фосфоритной мукой и простым суперфосфатом в почву поступают значительные их количества.

Таблица 77 – Содержание микроэлементов в минеральных и органических удобрениях, мг/кг

Удобрения	B	Co	Mn	Cu	Mo	Zn
Сульфат аммония	0–6	0–0,14	0–40	0,3–10	0,1–0,2	1–500
Фосфоритная мука	3–180	1–10	40–1800	1–300	0,1–60	4–1000
Суперфосфат простой	20–100	1–10	10–1000	1–270	2–10	0,3–600
Калийная соль	0–10	0	0–8	0–10	0–0,5	1–3
Сульфат калия	3–40	0,1	1–13	0–10	0,03	2–8
Навоз, на сухое вещество	30–40	1–1,5	180–240	25–35	2,5–3,2	200–450

В минеральных удобрениях 70–75 % валового содержания микроэлементов находится в подвижной форме, в навозе – не более 25 %. Однако при регулярном внесении навоза в почву потребность растений в микроэлементах, как правило, полностью удовлетворяется.

7.2.3.1. Борные удобрения

Растения испытывают недостаток бора в первую очередь на легких по гранулометрическому составу почвах, карбонатных и произвесткованных. Существенна потребность в борных удобрениях в орошаемом земледелии и рисоводстве, что объясняется обедненностью пахотного слоя почв водорастворимыми формами бора из-за постоянного выноса их фильтрационными и сбросными водами.

Бор в растениях не реутилизируется, поэтому его поступление из почвы необходимо в течение всего вегетационного периода. Особенно чувствительны к недо-

статку бора подсолнечник, рис, кукуруза, клубне- и корнеплоды, лен, многолетние бобовые травы, гречиха, виноград, плодовые растения и овощные культуры.

Применение борных удобрений целесообразно, если содержание подвижных форм бора в почвах Нечерноземной зоны менее 0,2–0,5 мг/кг, в Черноземной – 0,3–0,65, в сероземах и каштановых почвах менее 0,45–2,0 мг/кг. На затопляемых почвах рисовых полей внесение борных удобрений необходимо при содержании водорастворимого бора в почве менее 1,0 мг/кг.

В настоящее время выпускаются следующие основные борные удобрения: простой борный суперфосфат, двойной борный суперфосфат, бормагниевое удобрение, известково-аммиачная селитра, борная кислота, бура. Агрохимические свойства основных, наиболее часто применяемых в сельском хозяйстве борных удобрений, приведены в таблице 78.

Таблица 78 – Борные удобрения и их агрохимические свойства

Удобрение	Содержание бора, %	Форма	Внешний вид
Борная кислота, H_3BO_3	17,3	Водорастворимая	Белый кристаллический порошок
Простой суперфосфат с бором	0,2	Водорастворимая	Гранулированный, окрашенный красителем в синий цвет
Двойной суперфосфат с бором	0,4	Водорастворимая	Гранулированный, окрашенный красителем в синий цвет
Бормагниевое удобрение	2,3	Водорастворимая	Рассыпчатый порошок светло-серого цвета
Борнодотолливое удобрение, $CaO \cdot V_2O_5 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	2,	Водорастворимая	Рассыпчатый порошок светло-серого цвета
Борацитовая мука, $CaO \cdot MgO \cdot 3V_2O_5 \cdot 6H_2O$	10,0	Водорастворимая	Тонкоизмельченный порошок серого цвета
Бура, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	11,5	Водорастворимая	Кристаллический порошок светло-серого цвета

Внесение борных удобрений в почву наиболее целесообразно при низкой ее обеспеченности водорастворимыми формами. При этом бор вносится в дозе 2–3 кг/га. На среднеобеспеченных бором почвах эту норму уменьшают на 50 %. Обязательным условием достижения высокой эффективности борных удобрений является благоприятный агрофон. Борные удобрения вносятся в почву перед посевом одновременно с основными минеральными удобрениями. Если для предпосевного внесения в почву используется борная кислота, ее непосредственно перед применением необходимо тщательно перемешивать с фосфорно-калийными удобрениями для равномерного распределения по площади посева или вносить отдельно в виде водного раствора наземной техникой. При раздельном внесении борных удобрений нужно обращать внимание на равномерность распределения их по удобряемой поверхности. Избыточное количество борных удобрений может оказать отрицательное действие на растения. Особенно чувствительны к повышенным нормам этого элемента огурец, горох, земляника, вишня, лимон, виноград и люпин. Борные удобрения, внесенные в почву, оказывают последствие на 2-й и 3-й годы.

Кроме предпосевного внесения борных удобрений в почву, являющегося основным способом их использования, водорастворимые формы могут при-

меняться также для корневой и некорневой подкормки растений и предпосевной обработки семян. Корневые подкормки растений могут оказать существенное положительное влияние при появлении у растений визуальных признаков борного голодания, на легких песчаных почвах и на затапливаемых почвах рисовых полей, где бор может вымываться из пахотного слоя.

Эффективным приемом использования борных удобрений является также некорневая подкормка растений. Ее проводят 0,1 % водным раствором микроэлемента из расчета 300 л/га при использовании наземной аппаратуры. Для обработки больших площадей целесообразно использовать авиацию. В этом случае концентрация рабочего раствора увеличивается, т.к. при авиаобработках достигается очень тонкое распыление, в результате расход рабочего раствора существенно сокращается, норма микроэлемента сохраняется. Опрыскивание растений следует проводить в вечерние или ранние утренние часы; в дождливую погоду опрыскивать не рекомендуется, т.к. выпадение осадков вскоре после обработки приводит к смыву борного удобрения с поверхности растений, что снижает эффективность этого агроприема. Некорневые подкормки борными микроудобрениями позволяют значительно снизить расход микроэлемента. Семенные посевы многолетних бобовых трав, зерновые и овощные культуры опрыскивают борными удобрениями в период цветения растений. Раствор для опрыскивания готовят заранее, лучше всего за сутки до внесения, т. к. они медленно растворяются в холодной воде. После суточного настаивания, с периодическим перемешиванием нерастворившейся части, раствору дают отстояться и надосадочную жидкость используют для опрыскивания. Применять завышенные нормы борных удобрений не следует, т.к. они могут оказывать токсическое действие. Избыток бора обнаруживается, прежде всего, на нижних листьях, которые буреют и преждевременно опадают. Дефицит, оптимум и избыток бора в листьях растений составляют соответственно 3–30, 31–50 и 51–200 мг/кг сухого вещества.

Эффективным способом применения борных удобрений является обработка посевного материала. Ее рекомендуется проводить при выращивании сельскохозяйственных культур на среднеобеспеченных подвижным бором почвах. Обработку семян зерновых культур проводят 0,5 % водным раствором бора полусухим способом: 10 л раствора микроэлемента на 1 т семян. Этот агроприем проводят одновременно с протравливанием семян. Для обеспечения санитарных условий при проведении этих работ, а также для повышения эффективности используемых средств, семена обрабатывают с применением пленкообразователей. Для этих целей может быть использован 2 % водный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (полимер NaКМЦ). Количество удобрений, необходимое на одну заправку протравливателя, рассчитывается по следующей формуле:

$$Д = \frac{К \cdot 1000}{С} \cdot Е,$$

где: К – рекомендуемая концентрация раствора, %;
С – содержание действующего вещества в микроудобрении;
Е – емкость резервуара для рабочей жидкости (для ПСШ-3 она составляет 31 л, "Мобитокс" – 190 л, ПС-10-250 л).

Для обработки семян расчетную норму микроэлемента, растворенную в большом объеме воды, вливают в резервуар протравливателя, из которого подается рабочая жидкость в смесительную камеру, и доводят водой до заданно-

го объема. В течение 2–3 мин компоненты перемешиваются и затем приступают к обработке семян. Семена, обработанные бором, можно хранить в течение двух месяцев, если их влажность не превышает нормы, допустимой для посевного материала, без снижения эффекта от агроприема. При посеве свежеработанными семенами возможен их недосев из-за снижения сыпучести, поэтому специалистам необходимо следить за работой посевных агрегатов.

7.2.3.2. Марганцевые удобрения

Недостаток марганца в почве проявляется, прежде всего, на перегнойных и карбонатных почвах, а также после известкования оподзоленных песчаных почв. Повышение содержания в почвенном растворе антагонистов марганца, таких как железо, кальций, магний и аммоний, также может снизить обеспеченность растений этим элементом. Чувствительны к недостатку марганца рис, кукуруза, пшеница, ячмень, овес, корнеплоды, люцерна, картофель, подсолнечник, плодовые и овощные культуры. При марганцевом голодании растений отмечены случаи полного отсутствия плодоношения у редиса, капусты, томатов и гороха. С урожаем различных культур выносятся от 1,0 до 4,5 кг/га марганца.

Перспективно применение марганцевых удобрений при содержании подвижного марганца в почвах Нечерноземной зоны менее 25–55 мг/кг, Черноземной – 40–60 и на сероземах – 10–50 мг/кг почвы. В первую очередь марганцевые удобрения вносят на серых лесных почвах, слабовыщелоченных черноземах, солонцеватых и каштановых почвах. На посевах риса рекомендуется их внесение при содержании подвижного марганца в почве 35–40 мг/кг.

В качестве марганцевого удобрения используют сульфат марганца и марганезированный суперфосфат марганцевый шлам (табл. 79)

Таблица 79 – Марганцевые удобрения и их агрохимические свойства

Удобрение	Содержание марганца, %	Форма	Внешний вид
Сульфат марганца, $MnSO_4 \cdot 5H_2O$	21-22	Водорастворимая	Кристаллический порошок белого или бледно-розового цвета
Марганезированный суперфосфат	1,5-2,0	Водорастворимая	Гранулированное удобрение серовато-синеватого цвета
Марганезированная нитрофоска	0,9	Водорастворимая	Гранулированное удобрение светло-розового цвета
Марганцевые шламы	0,8–1,1	Легкорастворимая	Рассыпчатый порошок серого цвета

Для устранения недостатка марганца пригодны все марганцевые удобрения. Их вносят в почву под основную обработку или предпосевную культивацию из расчета 3–5 кг/га. Эти способы внесения наиболее оправданы на бедных подвижными формами марганца почвах. При опасности усиленной фиксации марганца рекомендуется проводить некорневую подкормку растений 0,1 % водным раствором из расчета 300 л/га рабочего раствора. Хорошие результаты дает обработка посевного материала 1,0 % водным раствором марганца полусухим способом.

Применение марганцевых удобрений повышает урожайность сахарной свеклы на 10–30 ц/га, картофеля 25-35, томатов –30–40, риса – 3–4, пшеницы на 1,5–3,5 ц/га.

7.2.3.3. Кобальтовые удобрения

Положительное действие кобальтовых удобрений проявляется на почвах, хорошо обеспеченных всеми остальными дефицитными элементами питания с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной. Сюда относятся черноземы, окультуренная дерново-подзолистая почва, а также сероземы и каштановые почвы. На почвах, имеющих нейтральную или близкую к ней реакцию, кобальт находится в малоподвижной форме, недоступной растениям. Кобальтовые удобрения эффективны на почвах Нечерноземной зоны, содержащих 1,0–1,1 мг/кг подвижного кобальта, Черноземной зоны – 0,6–2,0, в зоне сероземов и каштановых почв – 1,0–1,5, в затапливаемых почвах рисовых полей Кубани – 0,8–1,2 мг/кг. Наиболее чувствительны к недостатку кобальта бобовые культуры, сахарная свекла, пшеница, рис и виноград. При его недостатке ослабляются физиолого-биохимические процессы и рост растений; снижается продуктивность и ухудшается качество урожая. С урожаем различных сельскохозяйственных культур выносятся от 5 до 50 г/га кобальта.

Принимая решение о применении кобальтовых удобрений, необходимо помнить, что растения в одинаковой степени чувствительны как к недостатку, так и избытку этого элемента в почве. Высокое его содержание в почве может вызвать кобальтовый токсикоз. Такое явление, например, у риса наблюдали неоднократно при содержании микроэлемента в почве более 25 мг/кг.

В качестве кобальтовых удобрений используются сульфат, нитрат и хлорид кобальта, а также промышленные отходы, содержащие кобальт. Агрохимическая характеристика кобальтовых удобрений приведена в таблице 80.

Таблица 80 – Кобальтовые удобрения и их агрохимические свойства

Удобрение	Содержание кобальта, %	Форма	Внешний вид
Сульфат кобальта, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20–21	Водорастворимая	Мелкокристаллический порошок розового цвета
Хлорид кобальта, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24,8	Водорастворимая	Кристаллическое вещество с красноватым оттенком
Нитрат кобальта, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20,3	Водорастворимая	Мелкокристаллический порошок красного цвета

Кобальтовые удобрения, имеющие в своем составе водорастворимые формы кобальта, пригодны для обработки семян, проведения некорневой подкормки растений и для внесения их в почву. Промышленные кобальтсодержащие отходы можно вносить только в почву. В почву кобальтовые удобрения вносят в количестве 0,5–2 кг/га в пересчете на элемент. Для обработки семян используют 0,5 %, для некорневой подкормки 0,1 % водные растворы кобальта. Некорневую подкормку проводят не позднее фазы цветения растений из расчета расхода рабочей жидкости 300 л/га обработку семян зерновых культур лучше выполнять полусухим способом (10 л/т).

Прибавка урожая люпина на дерново-подзолистых почвах от применения кобальтовых удобрений составляет 1,2 ц/га семян, 65 ц/га зеленой массы, на лугово-черноземных почвах Краснодарского края и Республики Адыгея в зависимости от способа и норм внесения урожайность зерна риса увеличилась на 3,0–5,2 ц/га. Эффективно применения кобальтовых удобрений на картофеле, горохе, сахарной свекле. Прибавки урожайности этих культур от их внесения составляют соответственно 23–35 ц/га, 2,8–3,0 и 31–38 ц/га.

7.2.3.4. Медные удобрения

Растения испытывают недостаток меди, а почвы считаются бедными этим элементом, если содержание легкорастворимых форм меди в Нечерноземной зоне менее 1,5–2,0 мг/кг, в Черноземной зоне – менее 2,0–5,0, в зоне сероземов и каштановых почв – менее 1,5–4,0 мг/кг.

В медных удобрениях чаще нуждаются сахарная свекла, хлопчатник, горох, подсолнечник, плодовые, рис и другие зерновые культуры. С урожаем сельскохозяйственных культур выносятся 10–350 г/га меди. Медные удобрения наиболее эффективны на торфяниках, дерново-глеевых, заболоченных почвах и на почвах легкого гранулометрического состава. Их внесение оправдано, как правило, на затопляемых почвах под культуру риса.

В качестве медных удобрений используются медный купорос, пиритные огарки, представляющие собой отходы сернокислотного и бумажно-целлюлозного производства, и карбамидно-аммиачная смесь, обогащенная медью (табл. 81).

Таблица 81 – Медные удобрения и их агрохимические свойства

Удобрение	Содержание меди, %	Форма	Внешний вид
Медный купорос, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	23,9	Водорастворимая	Кристаллический порошок голубого цвета
Пиритные огарки	0,25	Лимоннорастворимая	Рассыпчатый порошок красновато-коричневого цвета
Карбамидно-аммиачная смесь (КАС) + медь	0,5	Водорастворимая	Суспензированная жидкость слабо-голубого цвета
Хлористый калий с медью	1,0	Водорастворимая	Рассыпчатое кристаллическое вещество розового или белого цвета с серым оттенком

В качестве медных удобрений можно использовать также шлаки цинкоэлектролитных и медеплавильных заводов, содержащие 0,2–0,5 % меди, а также низкопроцентные окисленные медные руды с содержанием этого элемента около 0,9 %.

Основным способом использования водорастворимых форм медных удобрений является предпосевное их внесение в почву в норме 3–8 кг/га действующего вещества. Пиритные огарки и другие медные удобрения, имеющие местное значение, вносят один раз в 4–5 лет в норме 0,5–0,6 т/га осенью под основную обработку почвы или весной перед предпосевной культивацией. Медные удобрения можно применять для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок растений. Обработку семян зерновых культур проводят полусухим способом 0,5 % водным раствором микроэлемента из расчета 10 л/т, а некорневые подкормки – 0,1 % из расчета 300–400 л/га. При резко выраженной медной недостаточности единственно эффективным способом применения медных удобрений является внесение в почву. Предпосевная обработка семян и некорневые подкормки действенны при слабой и средней обеспеченности почв легкорастворимыми формами меди.

Большое значение для эффективности медных удобрений имеет удовлетворение потребности растений в азоте, фосфоре и калии. При недостатке какого-либо из названных элементов положительное действие меди снижается или может совсем не проявиться. При выборе того или иного способа применения медных удобрений нельзя забывать, что потребность сельскохозяйственных культур в меди проявляется на самых ранних стадиях развития растений и поэтому в ряде случаев эффективность некорневой подкормки будет значительно ниже, чем предпосевное внесение в почву.

7.2.3.5. Молибденовые удобрения

К наиболее чувствительным к недостатку в почве молибдена культурам, относятся: люцерна, клевер, горох, бобы, рис, капуста, салат, шпинат, соя и пшеница. С урожаем сельскохозяйственных культур его выносятся от 10 до 300 г/га. Этот элемент необходим растениям в меньших количествах, чем другие микроэлементы. Тем не менее, все вышеперечисленные культуры положительно отзываются на внесение молибденовых удобрений. Однако здесь необходимо отметить, что высокие нормы внесения молибдена весьма токсичны для растений. Его накопление в сельскохозяйственной продукции вредно для здоровья животных и человека. При употреблении овощей с содержанием молибдена 20 мг/кг сырой массы у человека наблюдается эндемическая подагра, у животных, употребивших свежую растительную массу с таким содержанием, – молибденовые токсикозы. Поэтому передозировка молибденовых удобрений особенно опасна.

В качестве молибденовых удобрений пригодны молибдаты аммония, натрия и кальция. Перспективными молибденовыми удобрениями являются молибденовый суперфосфат и молибденизированная мочеви́на, содержащие молибден в легкоусвояемой форме (табл. 82). В качестве молибденовых удобрений могут быть использованы также шлаки, шламы и другие отходы металлургической промышленности, содержащие от 0,2 до 1 % молибдена.

Таблица 82 – Молибденовые удобрения и их агрохимические свойства

Удобрение	Содержание молибдена, %	Форма	Внешний вид
Молибдат аммония, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	52	Водорастворимая	Мелкокристаллический порошок белого цвета
Молибденовый простой суперфосфат	0,1	Водорастворимая	Гранулированное удобрение светло-серого цвета
Молибденизированная мочеви́на	0,5-0,8	Водорастворимая	Гранулированное удобрение белого цвета
Молибдат аммония натрия	35	Водорастворимая	Мелкокристаллический порошок с желтоватым оттенком
Молибион	8	Водорастворимая	Прозрачная жидкость

Применять молибденовые удобрения можно различными способами, но наиболее хозяйственно выгодна и распространена – предпосевная обработка семян. Ее проводят 0,5 % водным раствором молибдена в единой технологии с протравливанием ядохимикатами. Если семена не были обработаны молибденом, можно рекомендовать некорневую подкормку растений не позднее фазы цветения. Ее проводят 0,1 % раствором микроэлемента. Расход рабочей жидкости при использовании наземной аппаратуры составляет 300–400 л/га.

Для устранения недостатка молибдена один раз в 3–5 лет его вносят в почву в количестве 2–3 кг/га. Наиболее целесообразно использовать молибденовый суперфосфат, молибденизированную мочеви́ну и молибденсодержащие отходы металлургической промышленности.

7.2.3.6. Цинковые удобрения

Потребность во внесении цинковых удобрений, как правило, возникает на карбонатных почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией при возделывании плодовых и цитрусовых культур. Недостаток цинка может проявляться также на кислых сильно оподзоленных и на высокогумусированных почвах. Усиливает проявление цинковой недостаточности применение высоких норм фосфорных удобрений и сильное припахивание подпочвы к пахотному горизонту. К недостатку цинка наиболее чувствительны рис, кукуруза, фасоль, соя, картофель и овощные культуры. Вынос этого элемента с урожаем сельскохозяйственных культур колеблется от 50 до 250 г/га.

Цинковые удобрения следует применять, когда содержание подвижной формы цинка в почвах Нечерноземной зоны менее 0,2–1,0 мг/кг, Черноземной – 0,3–2,0 и в зоне сероземов и каштановых почв – менее 1,4–1,8 мг/кг почвы.

В качестве цинковых удобрений используются сернокислый цинк, двойной гранулированный суперфосфат с цинком и цинковые полимикродоброения (ПМУ-7) – отходы при производстве цинковых белил. Они содержат 19,6 % оксида цинка и 17,4 % силикатного цинка (табл. 83).

Таблица 83 – Цинковые удобрения и их агрохимические свойства

Удобрение	Содержание цинка, %	Форма	Внешний вид
Сульфат цинка, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	21,8	Водорастворимая	Белый кристаллический порошок или гранулы
Двойной суперфосфат с цинком	1,5	Водорастворимая	Серовато-голубоватые гранулы
Цинковые полимикродоброения (ПМУ)	19,6	Цитратно-растворимая	Тонкоизмельченный порошок темно-серого цвета
Шлаки медиплавильных заводов	2–7	Цитратно-растворимая	Мелкокристаллический порошок темно-серого цвета

Поскольку цинк быстро и прочно фиксируется почвой, предпочтительным способом использования цинкового удобрения является предпосевная обработка семян и некорневая подкормка растений. Обработку семян зерновых культур выполняют полусухим способом 1,0 % водным раствором цинка из расчета 10 л/т, некорневую подкормку – 0,1 % раствором микроэлемента с расходом рабочей жидкости 300–400 л/га. Некорневая подкормка проводится для большинства культур перед началом цветения, плодовые деревья опрыскивают весной по распустившимся листьям. Во избежание ожогов листьев к рабочему раствору добавляют гашеную известь в соотношении 1:1 к цинку. Цинковые удобрения при внесении в почву применяют в норме 4–6 кг/га. Для предотвращения перехода цинка в трудноусвояемую форму, цинковые удобрения вносят в почву локально при посеве.

Цинковые удобрения получили наибольшее применение на кукурузе, рисе, плодовых и овощных культурах. Урожайность зерна кукурузы от их внесения возрастает на 5–7 ц/га, риса – 4–6, пшеницы – 1,5–3,5, гороха на 1,5–2,0 ц/га.

7.2.4. Комплексные удобрения

Комплексные удобрения, характеризуются высокой концентрацией питательных веществ. Их использование избавляет сельскохозяйственное производство от трудоемкой работы по изготовлению удобрительных смесей в напряженный период полевых работ, что значительно сокращает расходы по

подготовке удобрений к внесению. Расчеты показывают, что увеличение концентрации питательных веществ в удобрениях на 10 % снижает транспортные перевозки в целом по стране на 5 млн. т км в год. Агрономическая эффективность равных норм питательных веществ в составе тукосмесей и комплексных удобрений практически одинакова, с некоторым преимуществом последних за счет более равномерного распределения питательных веществ в почве и лучшей их доступности корневой системе растения. В то же время затраты на подготовку и применение односторонних удобрений при их раздельном внесении в 1,5–2 раза выше, чем комплексных. Комплексные удобрения должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) соответствие состава удобрений по соотношению в них отдельных питательных веществ и по форме их соединений требованиям сельскохозяйственных культур и почв;

2) высокие физико-механические и физико-химические качества, исключающие слеживаемость и сегрегацию удобрений при перевозке и хранении, а также позволяющие применять туковысевающие механизмы любых типов. Так как этим условиям в наибольшей мере отвечают гранулированные удобрения, то комплексные удобрения целесообразно выпускать только в гранулированном виде;

3) возможно более высокое содержание суммы питательных веществ в удобрении.

Соотношение питательных веществ в комплексном удобрении – основной фактор, позволяющий рационально использовать их под ту или иную сельскохозяйственную культуру в определенных условиях ее возделывания. Так как эти условия изменяются на обширной территории нашей страны, то даже для одной и той же культуры, но выращиваемой в различных почвенно-климатических зонах, следует выпускать комплексные удобрения с различным соотношением питательных элементов. С учетом почвенно-климатических условий и сорто-генетических особенностей промышленность выпускает 8–10 марок удобрений с разным соотношением и содержанием элементов питания (табл. 84; Петербургский А.В., 1975).

Таблица 84 – Соотношение элементов питания в комплексных удобрениях

Соотношение N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	Для каких почв и культур рекомендуется
1:1:1	Для большинства культур и почв при близкой эффективности азота, фосфора и калия
1:0,7:1,2	Для основного удобрения зерновых культур, конопли, сахарной свеклы и картофеля на серых лесных почвах
1:1:1,5	Для почв, бедных калием, и под калиелюбивые культуры (картофель, свекла)
1:1,5:1,5	Для основного удобрения овощных культур и других пропашных (в том числе силосных) с азотной подкормкой летом
1:1,5:1	Для локального внесения под зерновые и сахарную свеклу при посеве и картофель при посадке на различных почвах
1:1:0	Для почв с высокой доступностью калия и культур, слабо отзывающихся на калийное питание
1:2:0	Для южных районов при хорошей доступности почвенного калия
1:2,5:0	Для основного внесения под хлопчатник на сероземах, не нуждающихся в калийных удобрениях
1:4:0	Для припосевного удобрения хлопчатника
0:1:1	Для бобовых культур и растений на торфянистых почвах

Требования растений к соотношению основных питательных веществ в удобрении зависят также от его нормы. При высоких нормах доля азота в составе удобрения значительно возрастает. Так, если при средних нормах оптимальное соотношение N:P₂O₅:K₂O в полном удобрении 1:1:1, то при высоких – оно может быть близким к 1:0,7:1 или 1:0, 5:1.

При длительном и систематическом применении удобрений соотношение питательных веществ целесообразно изменять в пользу азота вследствие того, что растения на образование урожая потребляют азота в среднем в 3 раза больше, чем фосфора, а также из-за накопления в почве усвояемого фосфора.

Потребность растений в азоте в значительной степени зависит от их обеспеченности влагой. При выпадении осадков целесообразно вносить дополнительно одностороннее азотное удобрение. Дробное внесение азота необходимо и в условиях орошения. Кроме того, в ряде районов некоторые культуры, например, озимая пшеница, вообще нуждаются в дробном внесении азота (до посева и в подкормку). Во всех этих и других случаях лишь некоторая часть азота может быть внесена в составе комплексного удобрения. Целесообразность включения значительного количества азота в комплексное удобрение снижается и при использовании в земледелии самого дешевого азотного удобрения – безводного аммиака.

В отличие от азота, фосфор и калий, которые рекомендуются вносить до посева, в состав сложного удобрения могут быть включены в полной норме. Доля азота в сложных (или сложно-смешанных) удобрениях, как правило, значительно меньше, чем доля фосфора и калия. При достаточно длительном применении азотных и фосфорных удобрений заметно возрастает потребность в калии.

Сложные удобрения могут различаться формой азотного и калийного компонента. При производстве комплексных удобрений источником фосфора могут служить как ортофосфаты, так и конденсированные фосфаты. Последние получают на основе суперфосфорной кислоты, состав которой зависит от ее концентрации (табл. 85; Борисов В.М., 1980).

Таблица 85 – Состав полифосфорных кислот

Концентрация кислоты P ₂ O ₅ , %	Содержание в виде кислот, % от общей P ₂ O ₅				
	орто-	пиро-	триполи-	тетраполи-	пентаполи-
70,0	97,4	2,6	–	–	–
72,0	89,4	10,6	–	–	–
75,0	60,2	35,4	4,4	–	–
76,0	49,0	42,0	8,0	1,0	–
78,3	28,0	49,1	16,5	5,2	1,2
80,1	15,4	39,1	24,4	12,7	5,7

Суперфосфорную кислоту производят или упариванием ортофосфорной кислоты, или улавливанием ею паров P₂O₅ после сжигания желтого фосфора. Среди конденсированных фосфатов можно выделить две основные группы: полифосфаты – линейные соединения с относительно короткой цепью (простейшим представителем полифосфатов является пирофосфат) и метафосфаты – циклические соединения, например триметафосфат. Существуют также длинноцепочные метафосфаты (полиметафосфаты) – цепи, состоящие из замкнутых циклов.

Применяя в качестве источника фосфора конденсированные фосфаты, можно получать высококонцентрированные комплексные удобрения: поли-

фосфаты аммония, калия, метафосфаты калия, содержание питательных веществ в которых выше, чем в ортофосфатах.

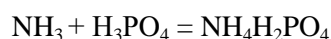
В комплексные удобрения, применяемые на песчаных почвах, в качестве источника калия целесообразно вводить не хлористый калий, а сульфат калия или сульфат калия-магния.

7.2.4.1. Сложные удобрения

Существуют два основных способа производства сложных удобрений: а) на основе экстракционной фосфорной кислоты с последующим получением фосфатов аммония; б) на основе азотнокислотного разложения фосфатного сырья.

К сложным относят двойные (полифосфат аммония, аммофос, диаммофос, нитроаммофос, нитрофос, карбоаммофос, фосфаты мочевины, фосфорно-калийные) и тройные (нитрофоска, нитроаммофоска, карбоаммофоска) удобрения.

Аммофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – дигидрофосфат аммония. Составляющие эту соль ионы (аммоний и анион фосфорной кислоты) необходимы всем культурам и они легко усваиваются растениями на всех почвах. Аммофос содержит 11-12 % N, 46-60 % P_2O_5 . В нем нет балласта. Технология производства аммофоса проста: аммиак нейтрализуют фосфорной кислотой:



Основу аммофоса составляют дигидрофосфат аммония – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – и частично гидрофосфат аммония – $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Соотношение их приблизительно 4:1. Кроме фосфатов аммония, аммофос может содержать фосфаты железа, алюминия, соединения фтора, магния и другие примеси, которые переходят в аммофос из исходной фосфорной кислоты.

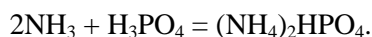
Содержание общей P_2O_5 в аммофосе аналогично или выше на 1–1,5 % содержания усвояемой P_2O_5 . Аммофос из апатитового концентрата почти полностью растворим в воде. Аммофос из фосфоритов содержит около 20 % общего содержания фосфора (P_2O_5) в нерастворимой в воде, но растворимой в слабых органических кислотах форме.

Аммофос можно применять в качестве основного удобрения под зерновые культуры, сахарную свеклу, картофель; особенно эффективен при внесении в рядки. Аммофос целесообразно использовать на всех почвах, а также в засушливых районах, где азотных удобрений требуется гораздо меньше, чем фосфорных. Перспективен при выращивании сои. Фосфор, содержащийся в аммофосе, более подвижен в почве, чем фосфор в суперфосфате, поэтому его можно использовать и для подкормок растений, если своевременно не вносили фосфорное удобрение.

Оптимальный размер гранул для аммофоса зависит от многих факторов: почвенно-климатических условий, способов внесения удобрений, требований для сухого тукосмешивания. На карбонатных почвах (сероземах) при основном внесении аммофоса лучше действует удобрение с более мелкими частицами; на дерново-подзолистой почве – не выявлено различий в действии удобрений с гранулами 1–4 мм. При рядковом внесении аммофоса в малых нормах наличие крупных гранул (3–4 мм) в количестве, превышающем 25 %, нежелательно. В гранулированном аммофосе количество гранул размером 1–4 мм должно составлять не менее 90 %.

В этом удобрении фосфора содержится в 4 раза больше, чем азота, поэтому в большинстве случаев аммофос приходится смешивать с азотными удобрениями, а иногда и с калийными. Служит хорошим компонентом для тукосмесей.

Диаммофос $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ – гидрофосфат аммония. Производство аммофоса основано на насыщении аммиаком свободной фосфорной кислоты. Если продолжить этот процесс, то получается диаммофос, в котором соотношение между азотом и фосфором равно приблизительно 1:2,5:

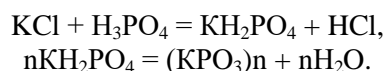


Содержит 18 % N и 46 % P_2O_5 . Это самое концентрированное из всех сложных удобрений. Диаммофос – удобрение безбалластное; 1 ц его заменяет 2,5–3 ц простого суперфосфата и 0,7 ц аммиачной селитры; обладает хорошими физическими свойствами. Применяется как основное, предпосевное удобрение на всех типах почв, в том числе и на мощных обыкновенных черноземах под зерновые, хлопчатник, сахарную свеклу, овощные, декоративные и плодово-ягодные культуры.

Диаммофос легко растворим в воде, в связи с чем, его можно использовать для подкормок растений. При его внесении в рядки, борозды или лунки нельзя допускать непосредственного контакта удобрения с семенами или растениями во избежание возможного отрицательного действия повышенной концентрации аммонийного азота диаммофоса на корневую систему растений.

Аммофос и диаммофос имеют преимущество перед суперфосфатом, т. к. их фосфат-ионы менее прочно закрепляются химически в почве и поэтому более усвояемы. Кроме того, фосфаты аммония безбалластны и не создают высоких концентраций, которые могли бы вредно действовать на проростки и семена. Соотношение N:P в этих удобрениях соответствует потребностям растений в самые первые периоды их развития, когда особенно необходим фосфор.

Метафосфат калия $(\text{KPO}_3)_n$ – сложное высококонцентрированное фосфорно-калийное удобрение, не содержащее балластных примесей. Содержит 60 % P_2O_5 и 40 % K_2O . Производство его основано на взаимодействии хлористого калия с фосфорной кислотой при высокой температуре. Реакция получения метафосфата калия из хлористого калия и ортофосфорной кислоты протекает при температуре 350–450°C. В начале образуется монофосфат калия и соляная кислота, а затем (при дегидратации) – метафосфат калия:



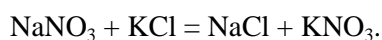
Метафосфат калия – полимерное соединение, степень полимеризации которого зависит от температуры и продолжительности нагревания. В настоящее время освоена технология производства метафосфата калия с низкой степенью полимеризации – от 15 до 50 атомов фосфора в цепочке. Такой продукт быстро гидролизует в почве до ортофосфата и триметафосфата. Чем ниже степень полимеризации, тем больше получается ортофосфата в начальный момент гидролиза. Получен метафосфат калия с содержанием всего фосфора в цитратнорастворимой и водорастворимой формах. При использовании экстракционной фосфорной кислоты получены формы метафосфатов калия, содержащие 54 % P_2O_5 (весь фосфор в водорастворимой форме), 35–40 % K_2O , а также 60 % P_2O_5 (весь фосфор в цитратнорастворимой форме) и 40 % K_2O . Метафосфат калия обладает хорошими физическими свойствами: не слеживается, негигроскопичен в условиях средней влажности воздуха, не содержит хлора и, следовательно, является хорошим удобрением для хлорофобных культур.

Метафосфат калия устойчив к выщелачиванию. Благодаря гидролизу в почве, он становится доступным растениям. Вносят под зяблевую пахоту,

используют на почвах, обеспеченных азотом. Смеси, приготовленные на основе метафосфата калия, отличаются удовлетворительными физическими свойствами и сыпучестью.

Калийная селитра (KNO_3) является концентрированным, сложным, азотно-калийным физиологически щелочным удобрением, содержит около 13 % азота (N) и 46 % калия (K_2O). Другое название этого удобрения – нитрат калия. Каждый центнер селитры заменяет более 1 ц калийной соли и почти 0,4 ц аммонийной селитры. Калийная селитра в природе встречается в виде небольших залежей. До возникновения мощной химической промышленности нитрат калия получали из компостов, состоящих из навоза, золы и извести. В этих компостах в результате биохимических процессов образовывалась селитра, которую после выщелачивания водой подвергали кристаллизации. Полученная таким способом калийная селитра использовалась, главным образом, для производства пороха и динамитов.

В настоящее время наибольшее промышленное распространение получил конверсионный способ производства калийной селитры. Этот способ основан на обменном разложении:



В качестве исходного сырья используют упаренные растворы нитрата натрия, которые образуются при щелочной абсорбции отходящих нитрозных газов при производстве разбавленной азотной кислоты, и стандартный хлористый калий.

Калийная селитра – белый кристаллический порошок с желтовато-сероватым оттенком. Хорошо растворяется в воде, слабогигроскопичен. Упаковывают в водостойкие мешки. Транспортируют всеми видами транспорта с предохранением от увлажнения. Хранят в упакованном виде, в сухом и закрытом складе.

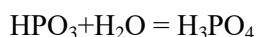
Благодаря отличным физическим свойствам, калийная селитра пригодна как для приготовления смешанных удобрений, так и для непосредственного внесения в почву. Это хорошая форма удобрения для картофеля, табака и других культур, чувствительных к хлору.

Широкое соотношение в удобрении между калием и азотом делает возможным применение его для поздних подкормок картофеля и корнеплодов, когда им требуется много калия и мало азота. Применение калийной селитры перспективно в овощеводстве защищенного грунта, т.к. она снижает общую концентрацию солей и особенно сульфатов и хлоридов в питательной среде.

Метафосфат аммония (NH_4PO_3) содержит 80 % фосфора (P_2O_5) и 17 % азота (N). Получают при взаимодействии аммиака с фосфорным ангидридом:



Около 40–60 % азота и фосфора, содержащегося в метафосфате аммония, трудно растворяются в воде, но в почве подвергаются гидролизу и переходят в водорастворимые соединения:



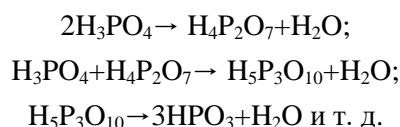
Превращение метафосфатов в ортофосфаты на кислых дерново-подзолистых почвах происходит быстрее, чем на черноземах. Метафосфат аммония пригоден в качестве основного удобрения под все культуры.

Полифосфаты аммония (ПФА) – аммонийные соли полифосфорных кислот. Содержат два элемента питания – азот и фосфор. Производство ПФА основано на нейтрализации полифосфорных кислот газообразным аммиаком в реакторе под давлением.

Общая формула полифосфорных кислот, из которых путем нейтрализации аммиаком получают соли – полифосфаты аммония, имеет вид: $H_{n+2} P_n O_{3n+1}$, где n – число атомов фосфора. Подставляя значения $n=1, 2, 3, \dots$, можно получить молекулярные формулы простейших полифосфорных кислот:

- $n=1$ – ортофосфорная кислота H_3PO_4 ,
- $n=2$ – пиррофосфорная кислота $H_4P_2O_7$,
- $n=3$ – триполифосфорная кислота $H_5P_3O_{10}$,
- $n=4$ – тетраполифосфорная кислота $H_6P_4O_{13}$.

Исходным продуктом для производства полифосфорных кислот служит ортофосфорная кислота экстрактивного происхождения или получаемая термическим путем из элементарного фосфора. Процесс образования полифосфорных кислот требует нагревания и вакуума:



В этих реакциях происходит конденсация (уплотнение) молекул с выделением воды. Поэтому полифосфорные кислоты называют еще конденсированными. В химической промышленности за ними утвердилось название суперфосфорной кислоты (коммерческий термин).

Полифосфаты представляют собой группу фосфорных соединений, в которых фосфатная часть представлена тетраэдрами ортофосфатного аниона PO_4^{3-} , соединенными между собой макроэргической пиррофосфатной связью $P-O-P$ в полимерные цепи различной длины и конфигурации, образуя линейные полифосфаты, метафосфаты (кольцевая структура) и ультрафосфаты (разветвленная структура).

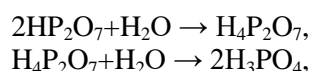
Соли этих полифосфорных кислот соответствуют формуле: $M_{n+2} P_n O_{3n+1}$, где M обозначает атом металла или аммония.

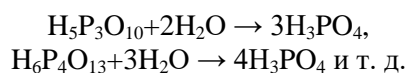
Полифосфорная кислота, на основе которой получают полифосфаты, содержит 74,5–76 % P_2O_5 , поэтому произведенные на ее основе удобрения также богаты фосфором (табл. 86; Петербургский А.В., 1982).

Таблица 86 – Состав пиро- и полифосфатов аммония, %

Удобрение	Формула	$N_{\text{общ}}$	P_2O_5	$N+P_2O_5$
Диаммонийфосфат	$(NH_4)_2H_2P_2O_7$	13,2	66,7	79,9
Триаммонийпиррофосфат	$(NH_4)_3HP_2O_7$	18,3	62,0	80,3
Тетрааммонийпиррофосфат	$(NH_4)_4P_2O_7$	22,7	57,7	80,4
Пентааммонийтриполифосфат дигидрат	$(NH_4)_5P_3O_{10} \cdot 2H_2O$	18,4	56,2	74,6
Гексааммонийтетраполифосфат гексагидрат	$(NH_4)_6P_4O_{13} \cdot 6H_2O$	15,4	26,1	41,5

Для практических целей наиболее ценны три- и тетрааммонийпиррофосфат, отличающиеся высокой общей концентрацией фосфора и азота и более приемлемым их соотношением. Эти удобрения используют в твердом виде или вводят главным компонентом в состав жидких и суспендированных удобрений, благодаря хорошей их растворимости.





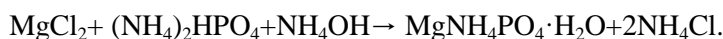
Гидролиз полифосфатов в почве зависит от температуры, реакции среды и почвенной микрофлоры. Например, в кислой среде гидролиз идет быстрее, чем в нейтральной или щелочной. Повышение температуры с 20 до 30 °С ускоряет гидролиз полифосфатов в два раза. В условиях влажных тропиков и субтропиков гидролиз протекает быстрее, чем в умеренной зоне. В тропиках сильнее проявляется биологическая активность почвы, которая ускоряет гидролитическое разложение полифосфатов. Не меньшую роль в гидролизе полифосфатов играют почвенные ферменты, корневые выделения растений, различные растительные ферменты (например, фосфатаза). Даже минералогический и гранулометрический составы почвы влияют на их подвижность и превращения. Полифосфаты сильнее, чем ортофосфаты, связываются с почвенными минералами.

В связи с тем, что в почве гидролиз полифосфатов идет медленно (1–2 недели) и ступенчато – от сложных полифосфатов до ортофосфатов, ретроградация фосфатов в почве, в случае применения этого удобрения, выражена слабо. Медленно образующиеся при гидролизе ортофосфаты быстро поглощаются растениями, минуя реакции взаимодействия с катионами алюминия и железа.

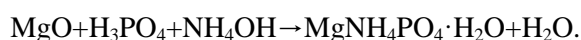
Полифосфат аммония имеет хорошие физические свойства, его гранулы размером 1,4–2,8 мм обладают высокой прочностью. Смеси полифосфата аммония с аммонийной селитрой, мочевиной, сульфатом аммония и хлористым калием обладают неплохими физическими свойствами. Полифосфат аммония можно также использовать для прямого внесения, в случаях, когда требуется широкое соотношение между азотом и фосфором. По эффективности он приравнивается к фосфатам аммония.

Полифосфаты аммония могут применяться под все культуры на любых почвах.

Фосфоаммомагnezия (магний-аммоний-фосфат). Различают одноводный ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и шестиводный ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Одноводный магний-аммоний-фосфат содержит до 9 % N, 45,7 % P_2O_5 и 25,9 % MgO. Получают из солей магния:



В качестве сырья используют также сульфат или оксид магния.



Взаимодействие реагентов и осаждение соли происходят при температуре 80–100 °С, образующийся продукт устойчив при температуре до 230 °С и стабилен при хранении.

В качестве магнийсодержащего сырья используют магнезит, для разложения которого применяют нагретую до 100 °С экстракционную фосфорную кислоту (43,5–49,5 % P_2O_5). Аммонизацию пульпы до pH 10 осуществляют 25 %-ным водным раствором аммиака.

Удобрение слабо растворимо в воде, медленнодействующее. Однако азот, фосфор и магний, входящие в удобрение, доступны для растений. По содержанию фосфора и магния одноводный магнийаммонийфосфат достаточно сбалансированное удобрение: применение его из расчета по P_2O_5 вполне удовлетворяет потребность растений в магнии на бедных им почвах. По азоту удобрение не сбалансированное, и его следует дополнять азотным удобрением. Одноводный магний-аммоний-фосфат можно использовать для приготовления магнийсодер-

жащих тукосмесей. При смешивании его с мочевиной, хлористым или сернокислым калием получается продукт с хорошими физическими свойствами.

При основном внесении на почвах, где растения нуждаются в фосфоре, одноводный магний-аммоний-фосфат по действию на урожай не уступает суперфосфату (с соответствующим количеством аммиачной селитры). На почвах, бедных не только фосфором, но и магнием, проявляется положительное действие на урожай обоих этих элементов, входящих в состав магний-аммонийфосфата. В таких почвенных условиях это сложное удобрение по эффективности превосходит фосфаты, не содержащие магния. Фосфоаммомагнезию можно вносить под все культуры в больших нормах без вреда для растений. Она эффективна при выращивании овощей в защищенном грунте. Благодаря наличию в этом удобрении нерастворимого в воде азота, его также целесообразно использовать на орошаемых землях.

Шестиводный магний-аммонийфосфат содержит питательных веществ на 35 % меньше (28,9 % P_2O_5 , 5,75 % N, 16,4 % MgO), чем одноводный, и неустойчив при хранении. При 30–35 °С он выделяет заметное количество аммиака. Потери аммиака из этой соли наблюдаются уже при комнатной температуре. Шестиводный магний-аммонийфосфат гигроскопичен. Так, при абсолютной влажности воздуха (в термогидростате) за 50 суток он поглотил 44,6 % воды. Поэтому использование его в качестве удобрения нецелесообразно.

Железоаммонийфосфат $FeNH_4PO_4 \cdot H_2O$. Содержит 38 % P_2O_5 , 29 % Fe и 9,64 % NH_4 . Удобрение рекомендуется для предпосевной обработки семян и некорневой подкормки растений, испытывающих потребность в железе. Железоаммонийфосфат, по существу, не может служить источником азота или фосфора. Если определять норму этого удобрения из расчета P_2O_5 , то получится избыточное количество железа, а если расчет вести по железу – незначительное количество азота и фосфора.

Монокалийортофосфат (монофосфат калия) KH_2PO_4 – концентрированная фосфорно-калийная соль, содержит в водорастворимой форме фосфор (52,2 % P_2O_5) и калий (34,6 % K_2O). Химически чистую соль, обладающую удовлетворительными физическими свойствами, включают во многие питательные смеси при постановке вегетационных опытов. В качестве удобрения монокалийортофосфат можно применять под сельскохозяйственные культуры на всех почвах Российской Федерации; может служить компонентом для жидких и твердых комплексных удобрений, используемых под овощные и плодовые культуры. Однако повышенная, по сравнению с хлористым и сернокислым калием, стоимость монофосфата калия мешает пока его более широкому применению.

Фосфат аммония и калия $NH_4KH_2PO_4$ содержит азота 5 %, фосфора – 50 и калия – 23 %. Все его ионы хорошо доступны растениям. Но соотношение трех питательных веществ ($N:P_2O_5:K_2O=1:10:5$), как правило, не может удовлетворить требования основных сельскохозяйственных культур, возделываемых на наиболее распространенных типах почв. Дополнять это сложное удобрение необходимо простыми азотными, а нередко и калийными туками. Из-за этого и других экономических причин фосфат аммония-калия пока не выпускается.

Полифосфат калия – фосфорно-калийное удобрение; получают при взаимодействии хлористого калия с полифосфорными кислотами. Технологическая схема производства полифосфата калия на основе взаимодействия ПФК и калийсодержащих солей включает следующие стадии переработки: дозирование исходных компонентов, их смешивание и химическое взаимодействие, гранулирование и охлаждение, рассев, дробление и кондиционирование.

Производство полифосфатов калия возможно также на базе взаимодействия раствора K_2CO_3 или KOH и паров P_2O_5 в колоннах барботажного типа с последующей переработкой полученных растворов.

Содержание фосфора и калия в полифосфатах калия изменяется в широких пределах (табл. 87).

Таблица 87 – Химический состав полифосфатов калия

Соединение	Содержание, %		
	P_2O_5	K_2O	H_2O
$KH_2P_2O_7 \cdot H_2O$	60,5	20,3	19,2
$K_3H_5(P_2O_7)_2$	58,2	30,1	11,7
$K_2H_2P_2O_7 \cdot 0,5H_2O$	53,5	35,9	10,6
$K_2H_2P_2O_7$	55,0	37,1	7,9
$K_4H_2P_2O_7 \cdot 3H_2O$	37,1	48,9	14,0
$K_4P_2O_7$	43,1	57,1	-

Полифосфат калия, изготавливаемый для сельского хозяйства в качестве комплексного фосфорно-калийного удобрения, содержит 48–51 % P_2O_5 , 26–32 % K_2O и около 4 % хлора. Фосфор в полифосфате калия представлен водорастворимыми (68 %) и цитратнорастворимыми (9 %) формами. Незначительное содержание хлора делает полифосфат калия важным удобрением для картофеля, табака, винограда и других культур, чувствительных к хлору. Это комплексное удобрение обладает хорошими физическими свойствами.

Фосфат мочевины. Образуется при взаимодействии термической фосфорной кислоты и синтетической мочевины. Производство основано на способности последней образовывать комплексы с фосфорной кислотой: $CO(NH_2)_2 \cdot (NH_4)_2HPO_4$. Фосфаты мочевины содержат 16–19,6 % N и 41–45 % P_2O_5 .

Фосфаты мочевины обладают удовлетворительными физико-химическими свойствами и не слеживаются при хранении. Из них меньше, чем из мочевины, теряется азот, а фосфор не так сильно закрепляется почвой, как из суперфосфата, и сохраняется в усвояемой форме для растений.

Фосфаты мочевины можно применять под все культуры в качестве основного удобрения, кроме поверхностного внесения на лугах и пастбищах. Опыты, проведенные на дерново-подзолистых почвах, черноземах и сероземах, показали, что при основном, предпосевном внесении под различные сельскохозяйственные культуры фосфаты мочевины не уступали по эффективности нитрофоске и смеси простых концентрированных удобрений (мочевине, двойному суперфосфату и хлористому калию).

Полифосфаты мочевины – продукт реакции высококонцентрированной термической фосфорной кислоты с мочевиной с последующей аммонизацией продукта. Готовое удобрение состоит из 31–35 % N и 24–31 % P_2O_5 . Варьируя количеством мочевины и полифосфорной кислоты, можно получить удобрения с заданным соотношением азота и фосфора, а с добавлением в смесь калийных солей – и калия. На основе фосфатов мочевины можно получать тройные концентрированные удобрения марки 20–20–20.

Целесообразно вносить на легких почвах под лен, картофель, пшеницу и другие сельскохозяйственные культуры. Исключение составляют луга и пастбища, т. к. при поверхностном внесении азот теряется, что снижает эффективность удобрения.

Амиды фосфора – высококонцентрированные удобрения, в которых суммарное содержание азота и фосфора достигает 120–147 %.

Фосфорный ангидрид перспективен для производства амидов, имидов фосфорных кислот, а также дегидратированных фосфатов аммония, медленно растворимых в воде, не выщелачивающихся и не связываемых почвой.

Взаимодействие P_2O_5 с NH_3 приводит к образованию смеси азота и фосфорных соединений различного состава: диамидопирофосфорной кислоты $P_2O_5(NH_2)_2(OH)_2$, двухзамещенной аммонийной соли моноамидопирофосфорной кислоты $P_2O_5(NH_4)_2(NH_2)(OH)$ либо аммонийной соли такой полифосфорной кислоты, в которой атомы фосфора соединены не только посредством кислородных атомов, но и амидогрупп (NH_2).

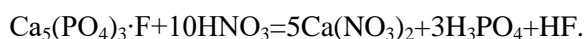
Фосфонитриламид содержит 93 % P_2O_5 и 54 % N, триамид ортофосфорной кислоты – 75 % P_2O_5 и 44 % N. Эффективность этого удобрения приближается к азотнокислому аммиону и моноаммонийфосфату.

7.2.4.2. Комбинированные удобрения

Комбинированные концентрированные удобрения отличаются от сложных тем, что не представляют собой единого химического соединения. В комбинированных удобрениях содержится ряд солей, которые равномерно распределены во всей массе удобрений благодаря единой технологии их производства. Это обеспечивает высокую однородность состава комбинированного удобрения, чего нельзя получить от механической смеси простых туков.

Нитрофос $NH_4NO_3+Ca(H_2PO_4)_2+CaHPO_4+CaSO_4$ – двойное азотно-фосфорное удобрение, получаемое азотнокислотным разложением фосфатов.

Схематически взаимодействие фосфатного сырья и азотной кислоты можно представить следующими реакциями:



Кислая реакционная смесь нейтрализует аммиак:



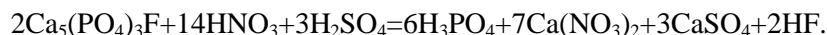
Большое количество $Ca(NO_3)_2$ в готовом удобрении из-за его высокой гигроскопичности является нежелательной примесью. Кроме того, повышенное содержание кальция приводит к образованию труднорастворимого трикальцийфосфата. Поэтому разработано несколько способов вывода избытка кальция из реакционной смеси: 1) вымораживанием кальциевой селитры (схема с вымораживанием); 2) газообразной двуокисью углерода (карбонатная схема); 3) сульфатом аммония (сульфатная схема); 4) связыванием серной кислотой (сернокислотная схема); 5) фосфорной кислотой (фосфатная схема).

Метод вымораживания нитрата кальция основан на изменении растворимости соли в зависимости от температуры. При охлаждении раствора в осадок выпадает $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, степень выделения которого зависит от температуры, концентрации и нормы азотной кислоты, взятой для разложения, продолжительности процесса осаждения, количества маточного раствора, возвращаемого в аппарат для разложения и соотношения $CaO:P_2O_5$ в растворе.

При частичном вымораживании кальциевой селитры и выделении ее из раствора с последующей обработкой его аммиаком при одновременной упарке образуется смесь, содержащая фосфаты аммония, дикальцийфосфат и аммиачную селитру:



При связывании избытка кальция серной кислотой (*сернокислотная схема*) протекают следующие реакции:

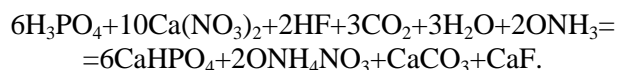


Образовавшийся в результате этой реакции сульфат кальция отфильтровывается.

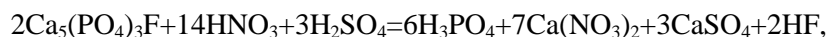
При последующей аммонификации реакционной смеси, оставшейся после отделения гипса, получают дикальцийфосфат и фосфат аммония:



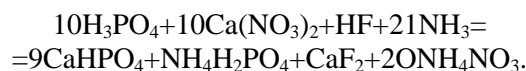
При *карбонатной схеме* избыток кальция выводится из реакционной смеси пропусканием диоксида углерода:



При *фосфатной схеме*, наряду с азотной кислотой, для разложения фосфатов добавляется фосфорная кислота:



с последующей аммонификацией:



Сульфатная схема. Нитрат кальция и фосфорную кислоту обрабатывают раствором сульфата аммония:



В зависимости от нормы селфата аммония может быть получен продукт с различным содержанием водорастворимого фосфора.

Фосфор в нитрофосе (нитрофосфаты), независимо от способа разложения фосфатного сырья, представлен двумя формами: водорастворимой $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и цитратнорастворимой CaHPO_4 . Нитрофос выпускают двух марок: марка А–23,5–17–0 и марка Б–24–14–0. Водорастворимого фосфора содержится в нем не менее 40 %. Имеет хорошие физические свойства. Используется во всех зонах страны под все культуры, когда необходимо совместное внесение азота и фосфора, а в калии растения не нуждаются.

Нитрофоски – тройные гранулированные удобрения, получаемые при добавлении хлорида калия к нитрофосам. Представляют собой гранулы светло-серого или светло-розового цвета. В нитрофосках азот и калий содержатся в форме легкорастворимых соединений (NH_4NO_3 , NH_4Cl , KNO_3 , KCl), а фосфор – в виде дикальцийфосфата, не растворимого в воде, но доступного для растений, и частично в форме водорастворимого фосфата аммония и монокальцийфосфата. В зависимости от технологии получения, содержание в нитрофосках элементов питания может колебаться от 35 до 50 %, в том числе N – 10–17, P_2O_5 – 8–30 и K_2O – 12–20 % (табл. 88).

Следует иметь в виду, что хотя состав нитрофосок может меняться, тем не менее, каждая гранула строго однородна, т. е. имеет постоянный для данной нитрофоски химический состав.

Нитрофоски выпускают только в гранулах, и вследствие меньшей поверхности соприкосновения с почвенными частицами, поэтому входящие в их состав фосфаты имеют более слабую степень ретроградации. Уменьшение ретрограда-

ции происходит и потому, что часть фосфатов нитрофоски находится в цитратнорастворимой форме. Это свойство нитрофосок имеет большое значение при применении на почвах с повышенной кислотностью, содержащих большое количество подвижных форм алюминия и железа, которые связывают фосфор в труднорастворимые соединения – фосфаты полуторных окислов.

Таблица 88 – Характеристика нитрофосок

Нитрофоска	Содержание питательных веществ, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сернокислотная	13	10	12
Сульфатная	12	12	12
Фосфорнокислая	16	16	16
Карбонатная	16	11	11
Вымороженная	17	17	17

Растворимость фосфатов колеблется в широких пределах – от хорошо растворимых в воде однозамещенных фосфатов до цитратнорастворимых (ди- и трикальцийфосфаты). Вследствие этого при оценке сложных удобрений, и в частности нитрофосок, необходимо знать, какие фосфаты входят в них. Если имеется углекислая нитрофоска, содержащая нерастворимые в воде фосфаты, то ее целесообразно вносить в кислые почвы. Нитрофоски, содержащие водорастворимые фосфаты, более универсальны и применяются как на кислых, так и на нейтральных и щелочных почвах.

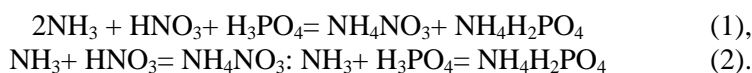
Азотные компоненты (NH₄H₂PO₄, NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄Cl), входящие в состав нитрофосок, хорошо растворяются в воде и высокоподвижны в почве. Сразу же после внесения во влажную почву вокруг гранул удобрения создается высокая концентрация азота, но вскоре после этого происходит диффузия его в относительно большой объем почвы. Поэтому размер гранул не играет существенной роли в эффективности азотного компонента нитрофоски, составленного из растворимых аммонийных и нитратных солей.

Калийные компоненты (KCl, K₂SO₄, KNO₃, KH₂PO₄) также хорошо растворяются в воде, но катион калия менее подвижен в почве, чем катион аммония, вследствие обменного поглощения, сорбции почвенными коллоидами и необменного поглощения калия глинистыми минералами типа иллита и монтмориллонита.

Нитрофоски имеют хорошие физические свойства: сыпучесть, несслеживаемость, слабую гигроскопичность. Все это позволяет механизировать внесение нитрофосок, и что особенно важно – локально (в рядки, лентами, очагами и т. д.). Локальное внесение имеет большое значение для сельского хозяйства, т. к. позволяет при меньших количествах удобрений (физической массы) удобрить большую площадь, чем в случае применения порошковидных простых минеральных удобрений.

Нитрофоски выпускают размером частиц 1–4 мм. Гранулы достаточно прочные и при кондиционировании их путем добавления небольших количеств минеральных масел и припудривания кизельгуром, тальком или тонкоразмолотым известняком не слеживаются при перевозке и хранении. Объемная масса нитрофоски 1,0. Упаковывают удобрение в водоустойчивые мешки массой 45–50 кг.

Нитроаммофос NH₄H₂PO₄+NH₄NO₃ – гранулированное азотно-фосфорное удобрение светло-серого цвета. Производится двумя способами: нейтрализацией аммиаком смеси азотной и фосфорной кислот (1) или каждой в отдельности (2):



Выпускается продукт пяти марок: 1:1:0; 1:1,5:0; 1:0,8:0; 1:2,2:0; 1:0,6:0. Размер гранул для всех марок: 1–4 мм – не менее 90 %, 4–5 мм – не более 5 %, меньше 1 мм – не более 5 %. Продукт не слеживается при хранении в течение 1 месяца. Температура нитроаммофоса при затаривании в полиэтиленовые мешки – не выше 50 °С. Теоретический состав нитроаммофоса стандартных марок приведен в таблице 89.

Таблица 89 – Состав нитроаммофосов

Соотношение N: P ₂ O ₅	Соотношение NH ₄ H ₂ PO ₄ : NH ₄ NO ₃	Содержание, %		
		N	P ₂ O ₅	N+P ₂ O ₅
1:0,8	35,0:65,0	27,1	21,6	48,7
1:1	41,4:58,6	25,6	25,6	51,2
1:1,5	54,7:45,3	22,5	33,8	56,3
1:2,2	70,0:30,0	19,0	43,1	62,1
1:0,6	30,0:70,0	28,2	18,3	46,5

Нитроаммофос обладает хорошими физико-механическими свойствами и пригоден для механизированного внесения. Применяется в качестве основного, припосевного удобрения и в подкормки под все культуры на почвах, обеспеченных калием.

Нитроаммофоска NH₄H₂PO₄+NH₄NO₃+KCl – гранулированное азотно-фосфорно-калийное удобрение светло-розового цвета. Производят путем аммонизации смесей азотной и фосфорной кислот или азотнокислотного разложения апатита, в результате которого образуется аммонийная селитра, аммофос. Раствор упаривают, добавляют соли калия, затем перемешивают, подсушивают и гранулируют. Нитроаммофоску получают с различным соотношением питательных веществ (табл. 90).

Таблица 90 – Характеристика нитроаммофосок

Содержание, %			Соотношение N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
17,5	17,5	17,5	1:1:1
18,0	15,0	18,0	1:0,8:1
15,0	15,0	23,0	1:1:1,5
13,0	19,5	19,5	1:1,5:1,5
13,0	26,0	13,0	1:2:1
10,5	21,0	21,0	1:2:2
17,0	17,0	17,0	1:1:1
17,5	14,2	17,7	1:0,8:1
20,5	20,5	10,2	1:1:0,5
14,8	14,8	22,2	1:1:1,5
18,0	15,0	18,0	1:0,8:1
11,5	23,0	23,0	1:2:2
15,0	22,5	15,0	1:1,5:1
14,0	21,0	21,0	1:1,5:1,5
13,5	27,0	13,5	1:2:1
12,0	18,0	24,0	1:1,5:2
17,5	17,5	17,5	1:1:1

Все соли, входящие в состав нитроаммофоски, растворимы в воде. Высокая концентрация питательных веществ, составляющая не менее 50 % в сумме N, P₂O₅ и K₂O, позволяет значительно сократить (в сравнении с простыми удобрениями) расходы на перевозку, хранение и внесение в почву. Действие нитроаммофоски на урожай обычно такое же, как и смеси простых удобрений в эквивалентном количестве. Наиболее эффективны эти удобрения на черноземных и сероземных почвах при орошении, благодаря более интенсивному использованию фосфатного компонента, представленного в сложных удобрениях в виде фосфата аммония, фосфор из которого поступает в растения быстрее, чем из фосфатов кальция.

Нитроаммофоску применяют для основного и припосевного внесения, а также для прикорневых подкормок растений. При основном удобрении на черноземных почвах и на тяжелых глинистых почвах Нечерноземной зоны нитроаммофоску целесообразно вносить с осени под зяблевую вспашку, а на легких почвах – весной.

Нитродиааммофос (диаммонитрофос) NH₄NO₃+(NH₄)₂HPO₄. Содержит 23 % азота (N) и 31 % фосфора (P₂O₅). Получают его так же, как и нитроаммофос, но с более глубокой нейтрализацией аммиаком фосфорной кислоты. Разработан технологический процесс производства нитродиааммофоса ретурным способом из термической фосфорной кислоты и экстракционной фосфорной кислоты, из флотационных концентратов апатитовой руды. Нитродиааммофос выпускают только в гранулированном виде с размером частиц 1–4 мм. Характеризуется хорошими физическими свойствами и пригоден для внесения любыми туковсевающими аппаратами. Нитродиааммофос можно использовать для основного и припосевного внесения, а также для подкормок растений. Применяют на почвах, обеспеченных калием, под зерновые и кормовые культуры, а также на лугах и пастбищах. Эффективность нитродиааммофоса такая же, как и смесей простых удобрений.

Нитродиааммофоска NH₄NO₃+(NH₄)₂HPO₄+KCl (диаммонитрофоска) – тройное азотно-фосфорно-калийное удобрение светло-розового цвета. Производство нитродиааммофоски отличается от нитродиааммофоса лишь добавлением калийного компонента на стадии гранулирования. Состав нитродиааммофосок приведен в таблице 91.

Таблица 91 – Содержание и соотношение элементов питания в нитродиааммофосках

Содержание, %			Соотношение N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
15,5	15,5	23,4	1:1:1,5
14,7	22,0	22,0	1:1,5:1,5
21,3	21,3	10,7	1:1:0,5
16,9	25,2	16,9	1:1,5:1
14,3	35,7	14,4	1:2,5:1
12,0	24,0	24,0	1:2:2

Нитродиааммофоска характеризуется хорошими физико-механическими свойствами и пригодна для внесения всеми туковсевающими аппаратами. Рекомендуется для всех культур на всех почвах при различных сроках и способах внесения.

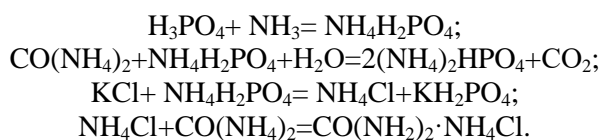
Карбоаммофос $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Содержит азот в амидной и аммонийной формах, фосфор находится в водорастворимой форме. Получают из карбамида, фосфорной кислоты и аммиака. Технологический процесс включает аммонизацию фосфорной кислоты до моноаммонийфосфата, добавление в полученную пульпу карбамида, сушку и гранулирование. Карбоаммофос можно производить, смешивая порошковидный аммофос с плавом мочевины с последующей сушкой и грануляцией, Технология производства карбоаммофоса позволяет получать удобрения практически с любым соотношением питательных веществ, что особенно важно в нашей стране, с ее многообразием почвенно-климатических условий и возделываемых культур, Производится три марки удобрения (табл. 92).

Таблица 92 – Химический состав карбоаммофосов

Соотношение N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	Содержание, %				
	N _{общ.}	N _{амид.}	N _{аммонийн.}	P ₂ O ₅	N+P ₂ O ₅
2:1:0	35,3	29,0	6,3	17,1	52,4
1:1,5:0	22,9	14,4	8,4	37,3	60,2
1:1:0	29,6	25,5	4,2	28,3	57,9

Используется на почвах с высокой обеспеченностью калием. По эффективности не уступает смеси простых удобрений, а в условиях орошаемого земледелия превосходит их.

Карбоаммофоска $\text{CO}(\text{NH}_4)_2 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{KCl}$ – трехкомпонентное гранулированное удобрение с хорошими физико-механическими свойствами. Получают на основе плава мочевины, фосфатов аммония и хлористого калия. Их смешивают, подвергают аммонификации, грануляции и сушке. Азот в карбоаммофоске находится в амидной и аммонийной формах, фосфор – почти полностью в водорастворимой форме:



Фазовый состав карбоаммофоски: 21 % KCl, 13,3 – KH₂PO₄, 14,4 – NH₄H₂PO₄, 9,7 – (NH₄)₂HPO₄, 11,0 – CO(NH₂)₂·NH₄Cl, 0,7 % H₂O. Степень конверсии (превращения) KCl 26–27 %.

Содержание азота, фосфора и калия в карбоаммофосках варьирует в довольно широких пределах (табл. 93).

Таблица 93 – Химический состав карбоаммофосок

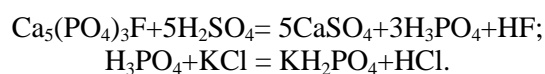
Соотноше- ние N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	Сумма дей- ствующих веществ, %	Содержание, %					
		N _{общ.}	N _{амид.}	N _{аммиачн.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	биурет
2:1:1	48,8	23,5	20,0	3,5	12,7	12,6	0,2
1:1:0,5	57,3	21,4	16,4	5,0	25,7	10,2	0,6
1:1:1	59,8	19,1	12,5	6,6	21,9	18,8	0,1

Карбоаммофоска, как водорастворимое удобрение, имеет преимущества перед нитрофоской. По концентрации питательных веществ она превосходит нитрофоску, нитроаммофоску и некоторые другие сложные удобрения. Азотный компонент карбоаммофоски представлен мочевиной, азот которой менее подвижен в почве, чем нитратный. Поэтому это удобрение в первую очередь применяют на легких почвах в зоне избыточного увлажнения, на орошаемых землях, а также используют для основного внесения под все сельскохозяйственные культуры.

Фосфор в карбоаммофоске содержится в форме водорастворимого фосфата аммония, который во многих случаях имеет преимущество перед фосфатами кальция, особенно сильно проявляющееся на нейтральных и слабощелочных почвах – черноземах и сероземах.

Карбоаммофоска равноценна стандартным водорастворимым удобрениям, т. е. смеси мочевины, суперфосфата и хлористого калия.

Суперфоска – сложное фосфорно-калийное удобрение; содержит 11–16 % P_2O_5 и 12–21 % K_2O , Получают разложением фосфоритов серной кислотой в присутствии хлорида калия.

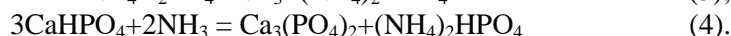
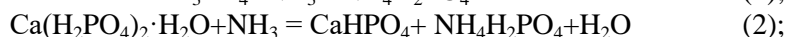
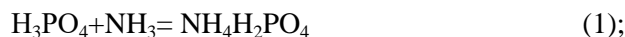


Удобрение порошковидное, используется под все культуры в качестве основного удобрения.

Карбоаммополифоска – трехкомпонентное гранулированное удобрение, содержащее по 21 % азота, фосфора и калия. Часть фосфора в этом удобрении содержится в конденсированной форме. Карбоаммополифоска обладает хорошими физическими свойствами. Используется под все культуры в качестве основного и припосевного удобрения.

Кристаллин – бесхлорное, водорастворимое удобрение, содержащее от 41 до 66 % NPK, в том числе общего азота 10–20 % (аммиачного азота 5–12 %, нитратного 2–8), усвояемого фосфора 10–20 и калия 10–20 %. Влажность не более 1,5 %. Получают нейтрализацией смеси термической фосфорной и азотной кислот газообразным аммиаком, с выпариванием ее до плава. В плавы добавляют сульфат калия и гранулируют. Можно применять в теплицах в виде распыленного водного раствора.

Аммонизированный суперфосфат $[Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2CaSO_4 + NH_4H_2PO_4]$ получается при насыщении суперфосфата безводным аммиаком, аммиачным раствором или аммиакатами (растворами азотных солей $Ca(NO_3)_2 \cdot NH_4NO_3$ и $CO(NH_2)_2$ в безводном аммиаке). Состав его зависит от количества введенного аммиака. При небольшой норме последнего нейтрализуется свободная кислотность суперфосфата (H_3PO_4) с образованием дигидрофосфата аммония ($NH_4H_2PO_4$), и содержание водорастворимого P_2O_5 в удобрении не уменьшается. При введении большого количества аммиака образуется дигидрофосфат аммония и цитратнорастворимый гидрофосфат кальция, т. е. в удобрении уменьшается содержание водорастворимого P_2O_5 . При дальнейшем увеличении нормы аммиака в удобрении снижается количество усвояемого P_2O_5 (т. е. суммы водорастворимого и цитратнорастворимого P_2O_5) и образуются фосфаты кальция $Ca(PO_4)_2$.



Так как введение в суперфосфат аммиака неизбежно вызывает местное подщелачивание реакции удобрения (рН), то аммонизация может привести к ретроградации фосфатов. Поэтому режим технологии производства его должен быть таким, чтобы четвертая из приведенных реакций вовсе не имела места. Аммонизация должна быть направлена, прежде всего, на нейтрализацию имеющейся даже в концентрированном суперфосфате свободной фосфорной кислоты (1-я реакция), а перевод монофосфата кальция в дифосфат (2-я реакция) должен быть всячески ограничен. Если аммонизацию вести до перехода всего монофосфата кальция в его дифосфат, то в удобрении не останется совсем водорастворимых фосфатов и оно будет непригодно для припосевного внесения.

Положительные стороны. При аммонизации суперфосфата повышается его качество – уничтожается кислотность, понижается гигроскопичность; он становится более рассыпчатым. Получение самого суперфосфата упрощается. Аммонийный азот этого удобрения хорошо усваивается растениями, но его содержание невелико, поэтому к нему приходится добавлять простое азотное удобрение.

Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) – это водные растворы питательных веществ – азота и фосфора или азота, фосфора и калия. В отдельные жидкие сложные удобрения входят мезо- и микроэлементы. В отличие от жидких азотных удобрений, они не содержат свободного аммиака, поэтому их можно хранить и перевозить в негерметичных емкостях. Вносят путем разбрызгивания по поверхности поля с последующей заделкой бороной, культиватором или плугом или местно лентами. Преимущество ЖКУ – простота обращения с ними и полная ликвидация ручного труда при наличии соответствующих несложных механизмов.

ЖКУ лишены недостатков, которые часто наблюдаются у твердых удобрений. Они обладают свободной текучестью, не пылят и не слеживаются; сырая погода и даже дождь не оказывают на них никакого влияния. Стоимость операции по хранению, внесению в почву и загрузке при транспортировании ЖКУ ниже, чем твердых туков. Применение жидких комплексных удобрений в сельском хозяйстве дает экономии капитальных вложений в среднем 27 %, эксплуатационные затраты составляют 15 %, затраты ручного труда – 50–60 %.

Жидкие комплексные удобрения выпускают в виде прозрачных растворов и суспензий (СЖКУ). Прозрачными ЖКУ называют растворы, не содержащие диспергированных твердых частиц. Суспендированными называют жидкие удобрения, в жидкой фазе которых диспергированы мелкие частички нерастворенного твердого удобрения, а иногда и инертного вещества.

Принципиальная схема получения ЖКУ заключается в нейтрализации аммиаком фосфорной кислоты (экстракционной или термической) до рН 6,5. В качестве нейтрализующего агента в зависимости от схемы получения используется водный или безводный аммиак. Существуют два вида ЖКУ, различаемых в зависимости от формы используемого для их производства фосфора: на ортофосфорной кислоте и на суперфосфорной кислоте (последняя представляет собой смесь орто- и полифосфорной кислот с содержанием 72–80 % P_2O_5). Увеличение содержания азота в ЖКУ достигается прибавлением аммиачной селитры, мочевины или смеси мочевины и аммиачной селитры.

Основной источник калия в жидком удобрении – хлорид калия имеет низкую растворимость, в особенности тогда, когда в растворе находится нитрат аммония. В результате происходящей обменной реакции образуется нитрат калия – наименее растворимая соль, которая встречается в жидких удобрениях.

ЖКУ производят методами горячего и холодного смешивания. При горячем смешивании (210–250 °С) с помощью нейтрализации фосфорной или поли-

фосфорной кислоты аммиаком на крупных предприятиях получают базовые (основные) растворы орто- и полифосфатов аммония. Методом холодного смешивания (35–45 °С) на небольших установках вблизи районов потребления изготавливают удобрения с требуемым соотношением питательных веществ, добавляя в базовые растворы карбамид, нитрат аммония, соли калия.

ЖКУ на основе термической ортофосфорной кислоты – почти прозрачные жидкости, на основе экстракционной ортофосфорной – мутные растворы (вследствие образования дисперсных частиц – аммонизированных фосфатов алюминия и железа, кремниевой кислоты). Общее содержание питательных элементов в ЖКУ на основе ортофосфорной кислоты сравнительно невысокое (24–30 %), т. к. в более концентрированных растворах при низких температурах происходят кристаллизация солей и выпадение их в осадок. Соотношение азота, фосфора и калия в ЖКУ может быть различным, содержание N составляет 5–10 %, P_2O_5 – 5–14 и K_2O – 6–10 %. В нашей стране выпускают ЖКУ с соотношением питательных веществ в основном 9:9:9, а также 7:14:7; 6:18:6; 8:24:0.

Концентрация азотно-фосфорных ЖКУ на суперфосфорной кислоте значительно выше получаемых на основе ортофосфата (табл. 94).

Таблица 94 – Соотношение элементов питания в жидких удобрениях

N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	Ортофосфорная	Суперфосфорная
4:1:0	16–4–0	24–6–0
3:1:0	18–6–0	24–8–0
2:1:0	16–8–0	22–11–0
1:1:0	13–13–0	19–19–0
1:2:0	9–18–0	15–30–0
1:3:0	8–24–0	12–36–0

На основе полифосфорных кислот, содержащих 76 % P_2O_5 , получают ЖКУ марки 10–34–0, а при использовании кислот с концентрацией 78–80 % P_2O_5 – 11–37–0. Эти растворы могут непосредственно применяться в качестве удобрений. При продолжительном хранении в растворе происходит гидролиз полифосфатов до ортофосфатов, что приводит к выпадению в осадок. Гидролиз полифосфатов увеличивается с повышением температуры.

Полученные на основе полифосфорных кислот жидкости состава 10–34–0 и 11–37–0 являются базисными (основными) для производства тройных ЖКУ, т. к. на их основе можно готовить набор слэри-солевых суспензий путем добавления карбамида, аммонийной селитры и хлористого калия. Краткая их характеристика приведена в таблице 95.

Таблица 95 – Характеристика марок ЖКУ, получаемых на основе полифосфорной кислоты

Показатель	Марка	
	10–34–0	10–37–0
Массовая доля азота, %, не менее	10±1	11±1
Массовая доля фосфора, %, не менее	34±1	37±1
Массовая доля нерастворимого в воде осадка, %, не менее	0,4	0,3
pH раствора	6–7	6–7
Плотность при 20 °С, г/см ³	1,4±0,03	1,4–1,5
Температура кристаллизации, °С, не выше	–18	–20
Вязкость при +20 °С, не более	50	

Существует несколько способов повышения суммы питательных веществ в жидком удобрении. Если при соотношении $N:P_2O_5:K_2O$, равном 1:1:1 и 1:2:2, получают удобрения 9–9–9 и 5–10–10, то при соотношении азота к фосфору 1:3 можно получать продукт 8–24–0, а при соотношении 0,95:3 – даже 9–29–0 без увеличения температуры кристаллизации.

Другой способ увеличения количества питательных веществ состоит во введении в раствор стабилизирующих добавок коллоидной глины, например аттапульгита, бентонита, предохраняющих пересыщенный раствор от выпадения твердой фазы. Расход сухой глины на 1 т удобрения составляет обычно 9–22 кг. ЖКУ, в состав которых введены стабилизирующие добавки, называются суспензированными, или *слэри*. Количество питательных элементов в суспензированных удобрениях достигает более 40 %. Возможно получение марок: 12–12–12, 8–10–16, 5–15–20, 10–30–10, 15–15–15, 20–20–0. Применение суспензий позволяет использовать экстракционную фосфорную кислоту, а также обогащать ЖКУ микроэлементами.

Все марки ЖКУ не токсичны, взрыво- и пожаробезопасны, практически не корродируют черные металлы благодаря образованию на их поверхности фосфатной пленки.

Исследования сравнительной эффективности применения жидких удобрений и эквивалентного количества питательных веществ, содержащихся в твердых удобрениях, проведенные на различных почвах Северного Кавказа, показали их равное влияние на урожай и качество сельскохозяйственных культур, а на отдельных культурах и подтипах черноземов выявилось преимущество жидких удобрений. Следовательно, применять жидкие удобрения под сельскохозяйственные культуры необходимо в нормах, рекомендованных научно-исследовательскими учреждениями и агрохимической службой для твердых удобрений.

ЖКУ можно вносить любым способом (основное, припосевное, подкормка). Они содержат все питательные вещества в воднорастворимом виде. ЖКУ на орошаемых землях можно вносить с поливной водой (если не происходит ее утечка в каналах).

Важнейшее значение имеет определение сроков, способов и норм внесения ЖКУ. Фосфор ЖКУ по сравнению с твердыми ортофосфатами лучше растворяется в воде и вследствие этого легче смывается поверхностным стоком, следовательно, при использовании ЖКУ важен учет рельефа.

7.2.4.3. Смешанные удобрения

Смешивание удобрений – один из наиболее простых и легко осуществимых способов объединения нескольких необходимых растению элементов питания. Существует два способа смешивания минеральных удобрений: сухой – смешивание готовых односторонних и неуравновешенных сложных гранулированных и порошковидных удобрений, и мокрый – получение сложно-смешанных удобрений. При мокром способе смешивания удобрений могут добавляться микроэлементы в жидкой форме – распылением их на сухие удобрения непосредственно перед погрузкой или при погрузке в транспорт (автомобили, тракторные тележки). Сухое смешивание удобрений – наиболее доступный, простой и экономичный метод получения комплексных удобрений. В отличие от сложно-смешанных удобрений, получаемых на крупных химических заводах, сухие тукосмеси готовятся непосредственно в хозяйствах. Они более разнообразны по составу и соотношению питательных веществ.

Для приготовления сухих тукосмесей обычно используют аммонийную селитру, мочевины, простой порошковидный и гранулированный, аммонизирован-

ный и двойной суперфосфаты, аммофос и хлористый калий. Пригодность отдельных компонентов для тукосмесей определяется: содержанием питательных веществ, химическим составом, наличием примесей или соединений, токсичных для растений, и доступностью питательных элементов растениям. Не менее важными факторами являются влажность, гигроскопичность, слеживаемость компонентов, оказывающие влияние на физические свойства конечного продукта.

При смешивании удобрений академик В.Г. Минеев (2004) рекомендует руководствоваться следующими основными правилами:

1. Нельзя смешивать удобрения, если при этом они теряют питательные вещества или превращаются в плохую по физическим свойствам массу, не поддающуюся механизированному внесению.

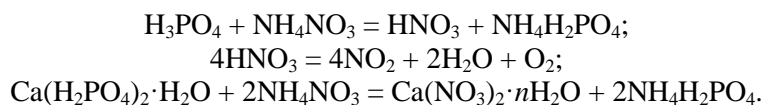
2. Ввиду высокой гигроскопичности получающейся смеси не следует смешивать между собой, а также включать одновременно в смесь аммиачную селитру и мочевины.

3. Нельзя смешивать аммонийные формы азотных удобрений (аммонийную селитру, сульфат аммония, фосфаты аммония – аммофос, диаммофос) с удобрениями, обладающими активными щелочными свойствами (фосфатшлаками, термофосфатами, цианамидом кальция, цементной пылью, содержащей калий в карбонатной форме, поташем) во избежание потерь азота в виде аммиака.

4. Содержание влаги в удобрениях не должно превышать предельно допустимую величину. Повышенная влажность значительно снижает их сыпучесть и не обеспечивает равномерного внесения в почву. Предельно допустимое содержание влаги должно быть в аммиачной селитре не более 0,2-0,3 %, в мочевины – 0,2-0,25, суперфосфатах (простом и двойном) – не более 3,5 %. При повышенном содержании влаги в минеральных удобрениях их гранулы теряют прочность. Для аммонийной селитры это состояние наблюдается при влажности 1,7-2,0 %, мочевины – около 1, хлористого калия – свыше 3 %. Содержание влаги в удобрениях резко возрастает с повышением температуры хранения. Например, смесь мочевины с двойным суперфосфатом и хлористым калием при исходной влажности 0,2 % через месяц хранения при температуре 4 °С содержала 6,6 % влаги, при 20 °С – 8,3, при 40 °С – 24,9 %.

5. Кислотность или щелочность минеральных удобрений, предназначенных для смесей, не должна быть выше показателя, предусмотренного стандартом. Удобрения, содержащие свободную кислоту или обладающие щелочной реакцией, химически активно взаимодействуют как между собой, так и при смешивании с другими удобрениями.

6. Нельзя смешивать суперфосфат, непосредственно с аммонийной селитрой, т. к. смесь очень быстро превращается в липкую массу из-за образования более гигроскопичной кальциевой селитры. Происходят следующие реакции:

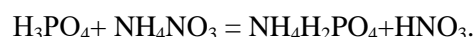


Первая реакция указывает на возможность выделения окислов азота, а вторая – на ухудшение физических свойств смеси в результате образования более гигроскопической кальциевой селитры.

Наиболее качественные смеси получают из гранулированных удобрений. Преобладающее большинство их должно готовиться перед самым внесением.

Наиболее часто готовят смесь аммонийной селитры с суперфосфатом. Такую смесь можно готовить только непосредственно перед внесением.

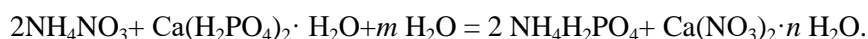
Известно, что суперфосфат может содержать до 5 % свободной фосфорной кислоты, которая при взаимодействии с аммонийной селитрой ведет к образованию азотной кислоты:



Азотная кислота – соединение нестойкое и распадается до окислов азота, которые улетучиваются:

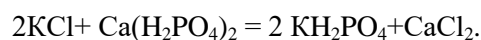


Кроме того, при взаимодействии образуется соль $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – вещество сильногигроскопичное:



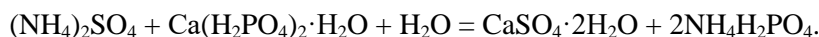
В результате этого при заблаговременном смешивании смесь может отсыреть и превратиться в тестообразную массу.

При приготовлении тройной смеси, то есть при добавлении сюда хлористого калия, помимо указанных реакций, может происходить реакция взаимного обмена между суперфосфатом и хлористым калием с образованием хлористого кальция – также сильно гигроскопичной соли:



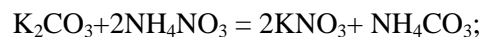
Таким образом, тройную смесь также следует готовить только в день внесения.

Нельзя смешивать заблаговременно суперфосфат с сульфатом аммония из-за слеживаемости удобрений. Это происходит по двум причинам: во-первых, из-за содержания в сульфате аммония большого количества свободной серной кислоты и, во-вторых, из-за взаимодействия суперфосфата и сульфата аммония:



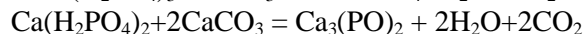
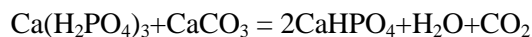
Так как монокальцийфосфат имеет только одну молекулу воды, а для образования гипса необходимо две молекулы кристаллизационной воды, то вторая молекула поглощается за счет свободной влаги смеси. Этот процесс поглощения свободной влаги оказывает большое влияние на слеживание тукосмесей.

Нельзя смешивать удобрения, содержащие аммоний, со щелочными удобрениями, т. к. произойдет потеря азота в виде аммиака. Например, при смешивании поташа (K_2CO_3) с аммиачной селитрой образуется углекислый аммоний, который будет распадаться до аммиака:



По этой же причине нельзя смешивать аммонийные соли с такими щелочными удобрениями, как томасшлак, фосфатшлак.

Не рекомендуется смешивать суперфосфат с большим количеством известковых удобрений, так как растворимая форма фосфора $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ будет переходить в менее растворимые формы CaHPO_4 и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, произойдет ретроградация фосфатов:



Исключением является примешивание к суперфосфату небольшого количества (не более 5 %) известняковой муки для нейтрализации свободной фосфорной кислоты:



Карбонат и бикарбонат кальция, имеющие щелочную реакцию, и металлургические шлаки, содержащие свободный оксид кальция, нельзя смешивать с аммонийными удобрениями из-за возможных потерь аммиака:



При заблаговременном смешивании аммонийной селитры с суперфосфатом получается мажущаяся смесь, непригодная для посева. Поэтому смешивать эти удобрения следует непосредственно в день внесения. В большинстве случаев смешивание допустимо незадолго до внесения удобрения в почву (рис. 90; Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И., 2002).

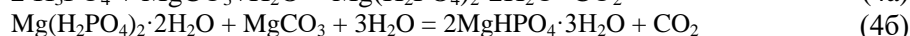
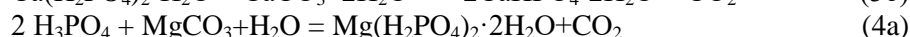
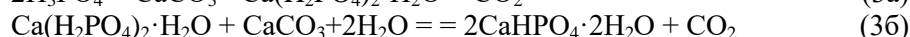
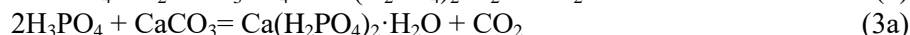
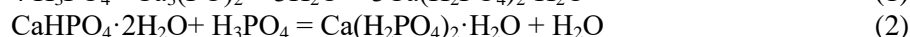
Аммонийная селитра	1										
Карбамид	2	0									
Сульфат аммония	3	1	1								
Суперфосфат	4	1	1	2							
Преципитат	5	1	1	2	2						
Фосфоритная мука	6	1	1	2	2	2					
Металлургические шлаки	7	0	1	0	0	0	2				
Аммофос	8	1	1	2	2	2	2	0			
Хлористый калий	9	1	1	1	1	1	1	1	1		
Сернокислый калий	10	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рис. 90. Диаграмма ограничений при смешивании удобрений

0 – свойства смеси значительно ухудшаются; 1 – длительное хранение смесей недопустимо; 2 – заблаговременное смешивание допустимо.

Для улучшения физических свойств смешанных и сложно-смешанных удобрений используются различные нейтрализующие добавки (известь, доломит или фосфоритная мука, каолин), а также смолы и кремнеорганические жидкости.

Возможность изготовления таких смесей видна из следующих реакций:



Эти реакции указывают, во-первых, на нейтрализацию свободной кислотности суперфосфата и, следовательно, на отсутствие возможности образования в смеси свободной азотной кислоты, обуславливающей потери азота; во-вторых, на образование дикальций- и димагнийфосфатов (реакции 3б и 4б), имеющих положительное влияние на улучшение физических свойств благодаря переходу гигроскопической воды в кристаллизационную.

Заблаговременное приготовление смесей минеральных удобрений возможно только на специальных пунктах смешения с использованием нейтрализующих добавок. При этом добавки сначала смешивают с суперфосфатом и затем с другими компонентами, только в этом случае будет более полная нейтрализация удобрения. Затем уже смешивают аммонийной селитрой или сульфатом аммония и хлористым калием. Следует учитывать, что аммонийная селитра и сульфат аммония – удобрения физиологически кислые, и если

смесь предназначается для кислой почвы, то на каждый центнер сульфата аммония добавляется известняковой муки 1,25 ц, на 1 ц аммиачной селитры – 0,8 ц и на 1 ц мочевины – 1 ц.

Необходимо помнить, что при любом способе изготовления смесей, в состав которых входят аммонийная селитра и суперфосфат, последний сначала перемешивают с нейтрализующей добавкой, а уже затем с остальными удобрениями.

При смешивании суперфосфата с нейтрализующей добавкой (известняковой мукой) происходит нейтрализация свободной фосфорной кислоты суперфосфата, исключается появление нестойкой азотной кислоты (которая может образоваться при добавлении аммонийной селитры) и, таким образом, исключаются потери азота. Снижается также гигроскопичность смеси (вследствие перехода гигроскопической воды в кристаллизационную – образование $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Необходимое количество каждого вида одностороннего удобрения (для приготовления смеси) рассчитывается по формуле:

$$M = a/v,$$

где: M – количество одностороннего удобрения, ц на 1 га;
a – количество питательного вещества, кг на 1 га;
v – содержание питательного вещества в 1 ц удобрения.

Качество полученных смесей зависит от реакционной способности составляющих компонентов, а также от условий увлажнения и температуры окружающей среды. При повышении температуры воздуха и увеличении степени насыщения атмосферы водяными парами скорость химических реакций между компонентами, составляющими смесь, возрастает и качество смеси ухудшается. Отмеченные закономерности, в первую очередь, имеют отношение к смеси на мочевины состава НК или NPK с участием хлористого калия.

Основным условием правильного приготовления смесей является тщательность перемешивания отдельных удобрений между собой. Достигается это лучше всего с применением средств механизации в специальных смесителях.

Пример составления тукосмеси. Для удобрения кукурузы требуется тукосмесь с соотношением: N, P_2O_5 , K_2O = 2:1:1,5. Если в хозяйстве имеются порошковидный суперфосфат 1-го сорта, чешуйчатая аммонийная селитра, хлористый калий и молотый известняк, то тукосмесь составляют так:

Аммонийная селитра	287 кг (100 кг азота) $\times 2 = 574$ кг
Суперфосфат	526 кг (100 кг P_2O_5) = 526 кг
Хлористый калий	171 кг (100 кг K_2O) $\times 1,5 = 256,5$ кг
	Всего 1356,5 кг

Для улучшения физических свойств в тукосмеси добавляют 10 % молотого известняка, что составит 135,6 кг. Таким образом, общая масса тукосмеси составит 1492 кг. В каждом центнере такой смеси будет содержаться 13,4 кг N, 6,7 кг P_2O_5 , 10,1 кг K_2O . Удобрения, предназначенные для смешивания, необходимо измельчить. Для этого используются молотковые дробилки, кольцевые, шаровые и прутковые мельницы, бетономешалки, грануляторы и другие подсобные аппараты. После измельчения удобрения просеивают на грохоте с отверстиями 3–5 мм. При смешивании, транспортировании, хранении и внесении тукосмесей следует максимально снижать неоднородность их химического состава, обусловленную сегрегацией.

Главной причиной неоднородности тукосмесей является сегрегация в конусах естественного осыпания. В тщательно перемешанной тукосмеси при ее погрузке в

транспортные средства и разгрузке возможно образование конусов естественного осыпания и вследствие этого происходит перераспределение компонентов. Крупные частицы распределяются преимущественно в нижней части, у основания кучи, менее крупные – в ее средней части и самые мелкие – в верхней.

Сегрегация тукосмесей происходит и при внесении их центробежными разбрасывателями. Неравномерное распределение тукосмесей обусловлено конструктивными особенностями этих машин, физико-механическими свойствами компонентов, различным радиусом полета частиц разного размера и массы.

Для улучшения распределения частиц удобрения по удобряемой площади необходимо обеспечить строго центральную подачу их на диск разбрасывающего устройства. При прочих равных условиях с увеличением скорости вращения диска возрастает дальность полета частиц удобрений, но в то же время снижается кучность, а, следовательно, равномерность их распределения. Для обеспечения равномерного распределения гранул удобрений необходимо соблюдать точные интервалы между соседними проходами разбрасывателя, чтобы в зоне перекрытия компенсировать недостачу удобрений, высеянных при проходе разбрасывателя в одну сторону. Наибольшая равномерность распределения удобрений достигается при дозе их внесения 2–2,5 ц/га и скорости движения машины 7–8 км/ч.

7.3. Органические удобрения

Было бы грубой ошибкой считать, что с ростом производства и применения минеральных удобрений роль навоза как одного из главных удобрений снижается. Наоборот, при интенсивной химизации значение навоза еще более возрастает.

Д.Н. Прянишников, 1939

Ценность органических удобрений заключается в многосторонности их действия на систему почва-микроорганизмы-растение. Они являются не только важным источником элементов минерального питания для растений и почвенных микроорганизмов, но и средством восполнения в ней запасов гумуса – одного из основных показателей плодородия почвы.

Подсчитано, что 25 % сухого вещества, вносимого в почву с органическими удобрениями, идет непосредственно на пополнение запасов гумуса, а 75 % – полностью минерализуется. С 20 т/га навоза в почву поступает около 100 кг азота (N), 50 – фосфора (P₂O₅), 120 – калия (K₂O), 80 кг кальция (CaO), а за счет процессов гумификации – около 1,0–1,2 т/га гумуса, т. е. от каждой тонны навоза запас гумуса в почве возрастает на 35–50 кг/га. Для повышения содержания гумуса в почве на 1 % необходимо в течение 5 лет ежегодно внести не менее 100 т/га органических веществ.

Применение органических удобрений позволяет повторно вовлекать в круговорот питательных веществ в земледелии часть элементов питания, ранее отчужденных из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур. Однако низкое содержание питательных веществ исключает возможность перевозки органических удобрений на большие расстояния. Поэтому, в отличие от минеральных туков, органические удобрения находят применение обычно в том хозяйстве, где они получены, или недалеко от места их получения, т. е. в большинстве случаев они относятся к так называемым "местным" удобрениям.

Следует отметить, что органические удобрения являются для растений существенным источником диоксида углерода, т. к. при их разложении в

почве под влиянием микроорганизмов в почвенный воздух и надземный слой атмосферы выделяется значительное его количество. Как следствие, улучшается воздушное питание растений. Кроме того, под влиянием углекислоты в почве повышается доступность растениям ряда питательных веществ и тем самым улучшаются условия их минерального питания. Кроме того, с органическими удобрениями в почву поступают ауксины, гетероауксины, гиббереллины, которые являются регуляторами роста растений.

Навоз, благодаря большому содержанию органического вещества, положительно влияет на физические, физико-химические свойства и биологическую активность почвы, в т. ч. ее структуру, водный и воздушный режимы, способствует увеличению численности полезных микроорганизмов. При систематическом его внесении снижается кислотность почвы, повышается ее степень насыщенности основаниями. Песчаные и супесчаные почвы становятся более связными*, увеличивается их поглотительная способность и буферность, что способствует сохранению в них влаги и элементов минерального питания. Глинистые почвы под действием навоза становятся более рыхлыми, легче поддаются обработке. Доступность элементов питания навоза различна и зависит от его качества, а также почвенно-климатических условий.

Внесение органических удобрений повышает способность почв переводить остатки пестицидов, тяжелых металлов и радиоактивных веществ в недоступные для растений соединения. Это в какой-то степени нейтрализует негативные последствия применения минеральных туков и средств защиты растений, тем самым усиливая санитарно-гигиеническую роль почв в охране окружающей среды. Органические удобрения на 20–30 % повышают эффективность вносимых минеральных удобрений, сглаживают последствия неблагоприятных погодных условий, улучшают качество сельскохозяйственной продукции.

По мере увеличения масштабов применения минеральных удобрений и повышения продуктивности культурных растений еще большее количество питательных веществ выносятся с урожаем основной и побочной продукции. Поэтому значение органических удобрений с дальнейшим развитием сельского хозяйства и промышленности не только не понизится, но, наоборот, возрастет еще больше. В то же время надо иметь в виду, что рациональное использование и более широкое применение местных органических удобрений несколько не снижает значения минеральных удобрений, за которыми всегда останутся главнейшие их преимущества – высокое содержание легкоусвояемых растениями элементов питания и возможность дальних перевозок.

К важнейшим органическим удобрениям относятся: навоз, навозная жижа, торф, птичий помет, фекалии, солома, озерный (прудовый) ил, отходы сельскохозяйственного производства, промышленности и городов.

7.3.1. Навоз

Навоз – основное органическое удобрение, представляет собой смесь твердых и жидких выделений сельскохозяйственных животных с подстилкой или без нее. Он является важнейшим звеном круговорота питательных веществ в земледелии. Питательные вещества, взятые растениями из почвы и внесенных минеральных удобрений, поступают с кормами и подстилкой на животноводческие фермы и переходят в навоз, с которым затем возвращаются обратно в почву. Таким образом, они неоднократно участвуют в создании урожая.

* Способность почвы оказывать сопротивление разрывающему усилию.

В зависимости от способов содержания скота различают подстилочный и бесподстилочный навоз.

7.3.1.1. Подстилочный навоз

Подстилочный навоз – смесь жидких и твердых экскрементов животных с подстилкой. Количество и соотношение твердых и жидких выделений значительно различаются в зависимости от видов животных (табл. 96; Анспок П.И., Штиканс Ю.А., Визла Р.Р., 1981). Крупный рогатый скот, лошади и овцы выделяют кала больше, чем мочи, а свиньи – наоборот.

Таблица 96 – Количество твердых и жидких выделений от разных видов животных

Вид животных	Выделения	
	твердые, кг/сут.	жидкие, л/сут.
Крупный рогатый скот	20–30	10–15
Лошади	15–20	4–6
Овцы	1,5–2,5	0,6–1,0
Свиньи	1,2–3,0	2,5–4,5

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобрительным качествам. Жидкие выделения животных содержат азота больше, чем в твердые, а в твердых находится больше фосфора и калия (табл. 97; Васильев В.А., Филиппова Н.В., 1988).

Таблица 97 – Содержание элементов питания в экскрементах животных, %

Элементы питания	Крупный рогатый скот	Лошади	Свиньи	Овцы
Твердые выделения				
N	0,29	0,44	0,43	0,55
P ₂ O ₅	0,17	0,35	0,41	0,31
K ₂ O	0,26	0,35	0,15	0,26
CaO	0,35	0,45	0,09	0,46
MgO	0,13	0,24	0,10	0,15
SO ₄	0,04	0,06	0,04	0,14
Жидкие выделения				
N	0,58	1,55	0,60	1,95
P ₂ O ₅	0,01	следы	0,07	0,01
K ₂ O	0,83	1,50	0,49	2,26
CaO	0,01	0,15	следы	0,16
MgO	0,04	0,12	0,15	0,34
SO ₄	0,13	0,06	0,16	0,30

Относительное содержание магния и кальция в твердых выделениях крупного рогатого скота и лошадей намного выше, чем в моче. В жидких выделениях больше содержится серы. Азот и фосфор в твердых выделениях содержатся в составе органических соединений и переходят в доступную для растений форму лишь после минерализации. В жидких выделениях элементы питания растений находятся в водорастворимой, легкодоступной форме.

По содержанию азота и фосфора экскременты свиней превосходят экскременты крупного рогатого скота. Это необходимо учитывать при определении норм и способов их внесения в почву. Бытующее у некоторой части земледельцев предвзятое отношение к возможности применения свежего свиного навоза в качестве удобрения как раз и объясняется фактами использования без учета его более высокой концентрации.

Сухое вещество экскрементов на 75–85 % является органическим и содержит лишь 15–25 % зольных элементов. Основную часть органики твердых выделений составляют вещества с высоким содержанием углерода. Отношение углерода к азоту составляет 9–10 в кале свиней и 15–16 – в твердых выделениях крупного рогатого скота. В противоположность этому, моча животных содержит около 50 % всего азота, выделяемого с экскрементами, и отношение в ней углерода к азоту у крупного рогатого скота составляет 1–2, а у свиней – 0,8–0,9.

На состав и соотношение твердых и жидких выделений животных влияют количество и качество потребляемых кормов. При скармливании животных концентрированными комбикормами экскременты намного богаче элементами питания, чем при кормлении грубыми кормами. Чем выше содержание элементов питания в кормах животных, тем больше их содержится в навозе. Из элементов питания, содержащихся в кормах, с навозом в почву возвращается до 90–98 % калия, 70–90 % азота, 70–80 % фосфора, 40–50 % органического вещества.

Прямое влияние на повышение удобрительных свойств навоза имеет количество и качество подстилки. Наиболее распространенными видами подстилки являются солома и торф, реже – опилки, стружки и другие влагоемкие материалы. Самую высокую влагоемкость имеет верховой торф (табл. 98; Васильев В.А., Бондарь Р.С., 1989).

Таблица 98 – Поглощительные свойства подстилки

Вид подстилки	100 весовых частей сухой подстилки поглощают воды, частей*	Вид подстилки	100 весовых частей сухой подстилки поглощают воды, частей
Солома: ржи	300	Стружки	300
пшеницы	170–300	Опилки	400–445
овса	170–230	Торф: низинный	500–700
риса	150–200	верховой	1000–1500
проса	340	Хвоя	150–200
гречихи	280–700	Ботва картофеля	180–220
гороха	280	Дубовая кора	400–500
Сено: люцерны	280	Мох	600–700
клевера	250	Стебли топинамбура	210–275
Листья: бука	200	Еловые лапки	70
дуба	400	Листья: граба	325
березы	300	липы	350

*1 кг верхового слаборазложившегося торфа при влажности 40–45 % может поглотить 4–5 кг навозной жижи, а солома в воздушно-сухом состоянии – 2–3 кг. Наивысшую влагоемкость имеет верховой торф с небольшой степенью разложения. У низинного торфа она значительно ниже.

Различные виды подстилки существенно отличаются по химическому составу (табл. 99; Минеев Л.Н., 1988).

Таблица 99 – Химический состав различных видов подстилки, % воздушно-сухого вещества

Виды подстилки	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Солома: овса	14,3	0,65	0,35	1,60	0,38
ржи	14,3	0,45	0,26	1,00	0,29
пшеницы	14,0	0,57	0,20	0,90	0,28
Торф: низинный	60	0,90	0,05	0,04	1,10
верховой	50	0,60	0,04	0,05	0,15
Опилки	30	0,04	0,02	0,04	–

Нормы расхода подстилки зависят от ее физико-химических свойств, вида животных, их рациона кормления, продолжительности стойлового периода, а также от системы навозоудаления. Чем суше подстилка, тем больше она впитывает жидкости и тем меньше ее требуется. Соломенная резка больше поглощает влаги, чем цельная солома. Сильно подсушенный низинный торф очень медленно впитывает жидкость, поэтому влажность его при применении на подстилку не должна быть ниже 30 %. При использовании большого количества сочных кормов подстилки требуется значительно больше, чем при использовании концентрированных кормов. Нормы расхода подстилочных материалов приведены в таблице 100 (Мамченков И.П., 1964).

Таблица 100 – Нормы подстилки на одно животное при стойловом содержании, кг/сут.

Вид животных	Солома		Торф		Опилки, стружки
	злаков	бобовых	верховой	низинный	
Крупный рогатый скот	3–5	4–6	5–6	20–22	3–6
Лошади	2–4	3–5	3–4	10–12	2–4
Овцы	0,5–1,0	0,5–1,0	–	–	–
Свиньи: матки с поросятами	5–7	5–8	3–4	–	–
хряки	1,5–3,0	2–3	2–3	–	2–3
откармливаемые	1–2	1,5–2,0	1,5–2,0	2–3	1,5–2,0
отъемыши	0,5–1,0	1,0–1,5	0,5–1,0	–	1,0–1,5

На фермах, где отсутствуют жиесборники и моча отдельно не собирается, количество подстилки для полного поглощения жидких экскрементов должно быть увеличено примерно в 1,5–2 раза.

Количество получаемого в хозяйстве навоза зависит от вида животного, общего поголовья скота, продолжительности стойлового периода, наличия кормов и вида подстилки, возрастного состава животных. Накопление навоза можно определить несколькими способами.

Первый способ (по выходу навоза на одну голову животного). Общее количество навоза, получаемого в хозяйстве, определяют, пользуясь данными о выходе навоза на одну голову животного, с дальнейшим пересчетом на все поголовье (табл. 101; Васильев В.А., Лукьяненко И.И., 1984).

Выход навоза в хозяйстве рассчитывают исходя из количества экскрементов, получаемых от одной условной головы скота, и количества применяемой подстилки. Для расчета выхода экскрементов все поголовье скота переводится в условные головы по коэффициентам: коровы и быки – 1; прочий круп-

ный рогатый скот – 0,6; свиньи – 0,3; овцы и козы – 0,1; лошади – 1; птица – 0,02. Выход твердых и жидких экскрементов от одной головы крупного рогатого скота – 40 кг/сут. В качестве годового норматива выхода экскрементов с учетом 15 % потерь при хранении принято 9,5 т на условную голову. К общему количеству экскрементов от всех видов животных прибавляют массу подстилки и получают выход органических удобрений по хозяйству.

Таблица 101 – Выход навоза от одного животного при содержании на соломенной подстилке, т

Вид животных	Продолжительность стойлового периода, дни			
	240–220	220–200	200–180	<180
Крупный рогатый скот	9–10	8–9	6–8	4–5
Лошади	7–8	5–6	4,0–4,5	2,5–3
Свиньи	2,25	1,75	1,5	1,0
Овцы	1,0	0,9	0,6–0,8	0,4–0,5

Количество хранящегося навоза можно определить, зная его объем (произведение длины, ширины и высоты в м³) и плотность. Масса 1 м³ свежего навоза – 400 кг, уплотненного – 700, полуперепревшего – 800, сильно разложившегося – 900 кг.

Второй способ (по массе животных). Суточный выход экскрементов крупного рогатого скота принимают в размере от 8 до 10 %, а экскрементов свиней – 6–8 % живой массы. Этот способ применим для комплексов промышленного типа с ритмичным выпуском продукции и незначительным колебанием состава поголовья по возрастным группам в течение года.

Третий способ (по годовому производству основной продукции). Считают, что выход экскрементов у коров в 4–5 раз, а у молодняка крупного рогатого скота – в 22–25 и у свиней – в 9–10 раз больше годового производства основной продукции – соответственно молока, говядины и свинины.

Четвертый способ (по формуле Буссенго). Выход навоза определяют по количеству израсходованного корма и подстилки по формуле:

$$H = (K + П) \cdot 2,$$

где: H – выход навоза, т;
K – количество израсходованного корма, т
П – количество израсходованной подстилки, т

Пятый способ (способ Вольфа). Основан на том, что около половины сухого вещества корма переваривается животными, а оставшееся количество переходит в навоз. В него переходит также все сухое вещество подстилки. В связи с тем, что в свежем навозе содержится $\frac{1}{4}$ сухого вещества и $\frac{3}{4}$ воды, общее количество навоза (H) в 4 раза больше половины сухого вещества корма (K:2), суммированного с сухой подстилкой (П):

$$H = \left(\frac{K}{2} + П \right) \cdot 4$$

Шестой способ (по массе всего стада). Количество навоза определяют умножением массы всего стада на 25. Метод предложен французскими учеными. По их расчетам, годовое количество навоза в 25 раз больше массы всего стада.

Седьмой способ (предложен В.А. Васильевым). Размер накопления навоза определяют расчетным путем по валовому содержанию сухого вещества в рационе животных, с учетом переваримости кормов и их потерь. В основу метода положена закономерность, согласно которой количество сухого вещества в смеси экскрементов (кал и моча) составляет около 10 %, т. е. выход экскрементов примерно в 10 раз больше содержания в них сухого вещества. Общее количество сухого вещества, попадающего в навоз, представляет собой сумму сухого вещества непереваренного корма, потерь его во время кормления и подстилки животным. С учетом этого, а также убыли массы навоза при хранении, для подсчета размеров возможного его накопления при стойловом содержании животных рекомендуется следующая формула:

$$H = \left\{ \left[(C_{\text{вр}} - A) \cdot \frac{100 - K}{100} + A \right] \cdot 10 + \Pi \right\} \cdot \frac{100 \cdot Y}{100},$$

где: H – выход навоза, т;
 $C_{\text{вр}}$ – сухое вещество рациона, т;
 A – потери сухого вещества корма, попадающего в навоз, т;
 K – коэффициент перевариваемости сухого вещества рациона, %;
 Π – количество подстилки, т;
 Y – убыль в массе при хранении навоза, %.

Потери корма при кормлении свиней и откормочного поголовья молодняка крупного рогатого скота составляют 10 %, коров – 5 %. Средневзвешенный коэффициент переваримости сухого вещества корма для откормочного поголовья молодняка крупного рогатого скота 60 %, коров – 55, свиней – 70 %. Убыль массы при хранении подстилочного навоза в стойловый период достигает 15 %, в пастбищный – 25 %.

При стойлово-пастбищном содержании скота накопление навоза рассчитывают отдельно за стойловый и пастбищный периоды. Навоз, накапливаемый за стойловый период, включают в общий годовой объем полностью, а за пастбищный – частично. Во время пастбы, а это примерно 2/3 суток, экскременты животных теряются на пастбище и не могут быть собраны для удобрения других сельскохозяйственных угодий. При определении возможного годового объема накопления навоза суммируют количество его, накапливаемое за стойловый период, и только 1/3 выхода экскрементов за пастбищный период.

Для расчета количества возможного накопления навоза в пастбищный период рекомендуется несколько иная формула, в которой все обозначения те же, что и в предыдущей:

$$H = \left\{ \frac{10}{3} \cdot \left[(C_{\text{вр}} - A) \cdot \frac{100 - K}{100} + A \right] + \Pi \right\} \cdot \frac{100 - Y}{100}$$

Состав навоза зависит от вида животных и используемой подстилки. Навоз лошадей и овец содержит меньше воды и больше органического вещества, а также азота, фосфора и калия, чем навоз коров и свиней. Навоз, приготовленный на торфяной подстилке, значительно богаче азотом, чем навоз, полученный при использовании соломенной подстилки (табл. 102; Васильев В.А., Филиппова Н.В., 1988).

На состав навоза оказывают большое влияние рацион кормления и особенности физиологии пищеварения животных. Чем больше в рационе животных концентрированных кормов и чем богаче они белками, тем больше азота

Таблица 102 – Состав свежего навоза, %

Химический состав	Соломенная подстилка				Торфяная подстилка	
	КРС	конский	овечий	свиной	КРС	конский
Вода	77,3	71,3	64,6	72,4	77,5	67,0
Органическое вещество	20,3	25,4	31,8	25,0		
Азот: общий	0,45	0,58	0,83	0,45	0,60	0,80
белковый	0,28	0,35	–	–	0,38	0,48
аммиачный	0,14	0,19	–	0,20	0,18	0,28
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,23	0,23	0,23	0,19	0,22	0,25
Калий (K ₂ O)	0,50	0,63	0,67	0,60	0,48	0,53
Кальций (CaO)	0,40	0,21	0,33	0,18	0,45	0,44
Магний (MgO)	0,11	0,14	0,18	0,09		
Сера (SO ₃)	0,06	0,07	0,15	0,08		
Хлор	0,10	0,04	0,17	0,17	–	–
Кремний (SiO ₂)	0,85	1,77	1,47	1,08	–	–
Оксиды железа и алюминия	0,05	0,11	0,24	0,07	–	–

и фосфора в навозе. При одинаковых кормах в выделениях молодняка содержится несколько меньше азота и фосфора, чем взрослых животных. Заметное влияние на химический состав навоза оказывают региональные особенности. Более высоким содержанием азота, фосфора, калия и органического вещества отличается навоз крупного рогатого скота в районах с черноземными почвами по сравнению с районами, имеющими в основном бедные по плодородию дерново-подзолистые и серые лесные почвы (табл. 103).

Таблица 103 – Химический состав навоза крупного рогатого скота, %

Район	Азот		P ₂ O ₅	K ₂ O	Органическое вещество	Вода	pH	C:N
	N _{общ}	N–NH ₄						
Северо-Западный	0,41	0,09	0,23	0,44	17,8	77,0	8,0	22
Центральный	0,49	0,07	0,27	0,39	19,1	75,5	7,9	20
Волго-Вятский	0,41	0,06	0,19	0,41	18,1	78,5	8,0	22
Центрально-Черноземный	0,60	0,08	0,30	0,60	19,4	66,5	7,9	16
Поволжский	0,63	0,05	0,32	0,68	20,0	55,0	7,9	16
Северо-Кавказский	0,69	0,05	0,30	0,99	23,8	50,5	8,2	17
Западно-Сибирский*	0,82	0,05	0,29	0,78	19,9	51,5	7,8	12
Восточно-Сибирский	0,48	0,03	0,41	0,51	20,7	66,0	8,0	21
Дальневосточный	0,56	0,07	0,30	0,67	19,2	63,0	7,7	17

* Перегной

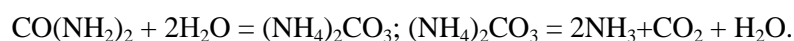
Кроме макро- и мезоэлементов в навозе имеются микроэлементы, количество которых колеблется в очень широких пределах в зависимости от содержания их в почве, на которой выращены кормовые культуры (табл. 104; Мамченков И.П., 1964).

Таблица 104 – Содержание микроэлементов в навозе, мг/кг сухого вещества

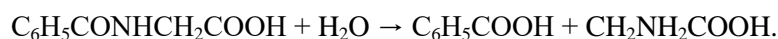
Микроэлемент	Минимум	Максимум	Среднее
Бор	4,5	52,0	20,2
Марганец	75,0	549,0	201,1
Кобальт	0,25	4,7	1,04
Медь	7,6	40,8	15,6
Цинк	43,0	247,0	96,2
Молибден	0,84	4,18	2,06

Содержание микроэлементов в навозе имеет важное значение, потому что почва, удобряемая только минеральными туками, с каждым годом все более и более обедняется микроэлементами, жизненно важными для человека и животных, ухудшается биологическая ценность продукции растениеводства и животноводства.

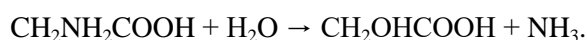
Полученный в результате смешения экскрементов и подстилки навоз подвергается в дальнейшем изменениям в результате развивающейся в нем интенсивной микробиологической жизни. Под воздействием уреазы, вырабатываемой уробактериями, мочевины, содержащаяся в навозе, очень быстро подвергается гидролитическому расщеплению:



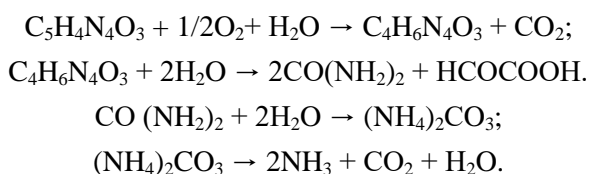
Гипшуровая кислота $\text{C}_6\text{H}_5\text{CONCH}_2\text{COOH}$, содержащаяся в навозе, разлагается на бензойную и аминокусусную кислоты:



В свою очередь, последняя разлагается на уксусную или оксиуксусную кислоту с выделением аммиака:



Мочевая кислота $\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$ через ряд промежуточных продуктов, в числе которых глиоксидиурейд $\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_3$, разлагается на углекислый газ, глиоксиловую кислоту HCOOH , воду и аммиак, что приводит к потерям последнего:

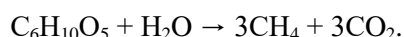


Следовательно, все азотистые соединения, входящие в состав навоза, могут разлагаться до свободного аммиака. Это основной источник потерь азота из навоза, особенно при неправильном его хранении.

Превращения безазотистых веществ при аэробных процессах можно описать уравнением:



При анаэробном процессе разложения клетчатка распадается в конечном счете на углекислый газ и метан:



Брожению подвержены крахмал, пентозаны, жирные кислоты и даже белки, но основным материалом для метанового брожения служит клетчатка.

Интенсивность процессов минерализации органических веществ навоза зависит от его состава и условий разложения, т. е. влажности и доступа кислорода воздуха. Чем больше в навозе содержится легко поддающихся разложению органических веществ – углеводов, азотистых веществ, тем интенсивнее идет этот процесс. Эти условия сказываются на температуре разлагающегося навоза. Чем интенсивнее идет минерализация, тем сильнее разогревается перепревающий навоз. Обычно конский и овечий навоз вследствие пониженной влажности, повышенного содержания азота и легко разлагаемых углеводов разогревается сильнее, чем, навоз крупного рогатого скота, выделения которого более водянистые и содержат меньше азота. Поэтому, навоз лошадей и овец называют обыкновенно горячим, в отличие от холодного навоза крупного рогатого скота. Наиболее сильно разогревается навоз в начале разложения, а затем интенсивность этого процесса падает и температура снижается.

Скорость разложения органического вещества навоза зависит от условий увлажнения, температуры и аэрации. Наиболее интенсивно он разлагается при влажности 55–75 %; при снижении влажности скорость разложения резко замедляется. Чем больше кислорода воздуха поступает в штабель навоза, тем интенсивнее и при более высокой температуре идет этот процесс. Аэрация и температура при разложении навоза зависят от объема штабеля, степени его уплотнения и увлажнения. Необходимо управлять процессами превращения навоза и расходования его сухого органического вещества. В превращениях навоза участвуют микроорганизмы, активно размножающиеся при обилии органических остатков, влаги и доступа воздуха. Общая их численность в расчете на 1 г сухого вещества значительно выше, чем в самых плодородных почвах. Размножение и деятельность микроорганизмов сопровождаются выделением тепла, особенно в свежем навозе, и которое часто используется в парниковом хозяйстве.

По степени разложения различают *свежий*, *полуперепревший*, *перепревший* навоз и *перегной*. Это связано со сроком его хранения, прочностью соломы и потерями сухого вещества.

Свежий, слабо разложившийся навоз. Солома еще сохраняет типичную (желтую) окраску и прочность. Водная вытяжка из такого навоза красновато-желтого или зеленоватого цвета.

Полуперепревший навоз. Солома уже теряет прочность и упругость, приобретает темно-коричневую окраску. Водная вытяжка густая, черная. В связи с потерей упругости подстилки навоз самоуплотняется, при этом выделяется часть навозной жижи. На этой стадии разложения навоз теряет 10–30 % первоначальной массы и такую же часть сухого органического вещества.

Перепревший навоз – однородная черная мажущаяся масса, в которой незаметны отдельные соломинки или элементы другого вида подстилки. Водная вытяжка бесцветная. Навоз теряет около 50 % первоначальной массы сухого органического вещества.

Перегной – темная рыхлая землистая масса, пылящая в сухом состоянии и мажущаяся при увлажнении. Водная вытяжка обычно бесцветная. На этой стадии теряется 75 % и более от всего исходного сухого вещества.

Не следует доводить навоз до перепревшего или перегнойного состояния. При длительном хранении навоза содержание органического вещества уменьшается в 2–3 раза, при этом теряется значительное количество азота (табл. 105; Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Попов П.Д., 1987).

Таблица 105 – Состав навоза крупного рогатого скота на соломенной подстилке, %

Показатель	Навоз			
	свежий	полуперепревший	перепревший	перегной
Азот	0,52	0,60	0,66	0,73
Фосфор	0,31	0,38	0,43	0,48
Потери органического вещества	–	29,0	47,2	62,4

Количество и качество подстилочного навоза в значительной степени зависят от способа его хранения. В период хранения навоза необходимо добиться:

- минимальной потери питательных веществ;
- возможно более полного разложения безазотистых составных частей навоза;
- накопления легкоусвояемых форм питательных веществ, при разложении навоза.

Навоз хранят непосредственно под скотом или в навозохранилище. Для хранения навоза под скотом стойла делают углубленными на 1–1,5 м, с тем, чтобы обеспечить место для всего его количества, накапливающегося за год. В связи с этим такой навоз называют еще навозом "глубокого стойла". Если животные ходят по стойлу без привязи, то происходит равномерное перемешивание подстилки, кала и мочи и уплотнение навоза ногами животных. При достаточном количестве подстилки вся вода экскрементов впитывается и механических потерь навозной жижи не происходит. Немедленное равномерное уплотнение навоза и поддержание его во влажном состоянии создают условия для его медленного анаэробного разложения. Выделяющийся при разложении навоза диоксид углерода и высокая влажность препятствуют диссоциации углекислого аммония, и потери азота бывают небольшими. Все это вместе взятое показывает, что в плане хранения навоза этот способ удовлетворителен. Однако при этом создаются антисанитарные для животных условия, что приводит, в частности, к загрязнению молока, и делает этот способ совершенно непригодным для молочного скота.

Обустройство рациональных скотных дворов в хозяйствах постепенно вытесняет этот прием хранения навоза из практики. При ежедневной чистке стойла возникает задача организации хранения навоза до момента вывозки в поле в специальном навозохранилище. Уборка навоза включает очистку стойл, удаление его из помещений для содержания скота и транспортировку в карантинный навозоприемник. Удаляемый подстилочный навоз буртуют на карантинной бетонированной площадке возле помещения. После укладки бурта навоз хранят на площадке в течение 6 сут. В это время в бурт запрещается добавлять свежий навоз. Его укладывают во второй бурт. Если в течение карантинного срока (6 сут.) на ферме не возникает особо опасных заболеваний, то навоз из первого бурта вывозят в навозохранилище или полевой штабель. В случае выявления инфекции навоз обеззараживают по указанию и под руководством ветеринарно-санитарной службы.

Карантинная площадка должна быть на 25–30 см выше окружающей территории. По ее периметру устраивают канавки для отвода жижи. Канавку от по-

ступления воды с водосборной площади защищают валиком высотой 25–30 см. Для сбора жижи, отводимой с площадки, устраивают заглубленные жижеборники, вместимость которых зависит от способа и длительности хранения жижи. Размеры карантинной площадки на ферме должны позволять разместить на ней навоз с учетом задержки вывоза в навозохранилище в период бездорожья.

При устройстве навозохранилища необходимо исключить просачивание в грунт образующейся при хранении навозной жижи, а также поступление в навоз грунтовых и дождевых вод. С этой целью место, отведенное для навозохранилища, окружают валом и канавкой для стока дождевых вод, а дно самого навозохранилища покрывают кирпичной кладкой, глиной, бетоном или другим водонепроницаемым слоем. Дно навозохранилища делают с уклоном в сторону для стока жижи в специально устроенный для ее сохранения колодец-жижеприемник. Место для навозохранилища отводится на расстоянии не менее 50 м от скотного двора, с подветренной стороны к нему и жилым постройкам. Лучше, если место расположения навозохранилища защищено от ветра зелеными насаждениями.

Существуют два типа навозохранилищ: полузаглубленные и наземные. При выборе типа навозохранилища принимают во внимание уровень стояния грунтовых вод, плотность грунта и возможность механизации трудоемких работ по укладке и выгрузке навоза.

Полузаглубленное навозохранилище – это обычно вытянутый котлован прямоугольной формы, обвалованный по длинным сторонам. В торцах котлована устраивают пандусы для въезда и выезда машин, по бокам – жижеборники. Котлован строят глубиной 0,5–1,5 м в зависимости от уровня грунтовых вод и плотности грунта. В плотных глинистых грунтах глубина котлована обычно больше, чем в рыхлых.

Наземные навозохранилища проектируют в случае высокого уровня стояния грунтовых вод. Забетонированное днище хранилища должно быть примерно на 20 см выше поверхности почвы. Боковые стенки делают из бетона или сборного железобетона. Вокруг хранилища устраивают отмостку для стока талых и ливневых вод.

Размеры навозохранилища определяются количеством накапливающегося в хозяйстве навоза в промежутки от одной вывозки до другой. Если осуществляется зимняя вывозка навоза, то примерная потребность в площади навозохранилища по расчету на одну голову крупного рогатого скота равна:

Продолжительность стойлового периода, дни	200–240	180–200	<180
Площадь навозохранилища на 1 голову крупного рогатого скота, м ²	3,0	2,5	1,8

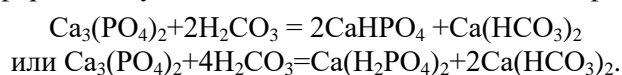
Для расчета размеров навозохранилища для других животных к 1 голове крупного рогатого скота приравнивают 2 рабочие лошади, 4 взрослых свиньи, 4 теленка, 10 овец, 2 головы молодняка крупного рогатого скота.

Существует три способа хранения навоза – горячий (рыхлый), холодный (плотный) и горячепрессованный. Первый предусматривает рыхлую укладку навоза в узкие, не шире 2–3 м, штабеля; второй – плотную укладку увлажненного навоза в штабеля шириной не менее 5 и высотой 2 м; третий – укладку слоем 80–100 см с последующим уплотнением каждого слоя после повышения температуры в штабеле до 55–60 °С. В штабель кладут не менее трех-четырёх слоев навоза, чтобы общая высота после уплотнения была не менее 2 м.

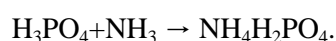
При **горячем способе хранения** создаются благоприятные условия для разложения навоза аэробными бактериями. Активность микрофлоры в этих

условиях возрастает, интенсивно минерализуются органические вещества, теряется сухое вещество и азот. Температура поднимается до 60–70 °С. Применять этот способ целесообразно, если в короткий срок требуется получить навоз высокого качества и необходимо уничтожить в нем семена сорняков. Для уменьшения потерь азота при горячем способе хранения необходимо применять повышенные нормы подстилки.

Потери азота при хранении навоза уменьшаются при компостировании его с фосфорными удобрениями. Для этого целесообразно использовать фосфоритную муку. Под влиянием угольной и органических кислот, образующихся при разложении навоза, фосфоритная мука превращается в более доступные для растений формы – двухзамещенный и однозамещенный фосфат кальция:



Одновременно происходит связывание аммиака фосфорной кислотой с образованием фосфорно-аммонийной соли – аммофоса:



Потери азота из навоза при его хранении без фосфоритной муки составляют около 20 %, а при ее добавлении – только 2–3 %. Обычно рекомендуется добавлять фосфоритную муку к навозу в количестве 2–5 % его массы. При этом необходимо, чтобы она равномерно распределялась в массе навоза. Фосфоритную муку можно добавлять к навозу на скотных дворах или при укладке штабеля на поле. Чем дольше взаимодействие фосфорных удобрений с навозом, чем лучше они перемешаны, тем выше эффективность этого приема.

При *холодном способе хранения* навоза создаются анаэробные условия в навозохранилище. Температура навоза, даже в первой стадии разложения, высоко не поднимается. Навоз остается все время достаточно увлажненным и насыщенным выделяющейся при разложении углекислотой. Такие условия предотвращают повышенную диссоциацию углекислого аммония и улетучивание аммиака. Кроме того, благодаря анаэробному типу разложения органического вещества навоза, при распаде углеводов и белков образуются органические кислоты, также связывающие аммиак. Анаэробные условия разложения вместе с тем исключают даже начало процесса нитрификации, а, следовательно, и потери азота путем денитрификации отсутствуют. Сравнительно малая интенсивность бактериального разложения и почти полное отсутствие грибной флоры ведут к тому, что в условиях плотного хранения навоза вторичное связывание азота телами микроорганизмов выражено в меньшей степени, чем при других способах хранения, следовательно, значительная часть азота накапливается в легко усвояемой аммонийной форме (табл. 106; Мамченков И.П., 1964).

При плотном хранении потери сухого вещества навоза сравнительно невелики, он сохраняет способность удерживать значительное количество влаги, и отделение навозной жижи можно сделать небольшим.

Горячепрессованный способ хранения навоза в навозохранилище был предложен в Германии Кранцем. Его применяют для ускоренного получения качественного навоза, уменьшения потерь питательных веществ и для уничтожения возбудителей желудочно-кишечных заболеваний и семян сорной растительности. Его используют в тех случаях, когда ветеринарный врач устанавливает необходимость применения этого приема для борьбы с глистными или другими заболеваниями животных.

Таблица 106 – Состав навоза после 4-х месяцев хранения, %

Химический состав	Соломенная подстилка			Торфяная подстилка		
	способы хранения					
	холод- ный	горяче- прессо- ванный	рыхлый	холод- ный	горяче- прессо- ванный	рыхлый
Вода	75,7	77,7	77,9	77,3	79,5	80,0
N: общий	0,61	0,66	0,71	0,62	0,67	0,63
белковый	0,37	0,50	0,51	0,37	0,44	0,42
аммонийный	0,23	0,15	0,18	0,24	0,22	0,18
P ₂ O ₅	0,39	0,43	0,48	0,27	0,28	0,31
K ₂ O	0,42	0,48	0,52	0,37	0,48	0,51
CaO	0,18	0,24	0,22	0,19	0,24	0,24
Органическое вещество	21,7	18,7	18,4	20,0	18,0	17,0
Углерод	9,69	8,61	7,31	9,08	8,30	8,00
Клетчатка	8,82	6,58	6,47	6,88	5,88	5,72
Пентозаны	3,69	2,49	2,48	2,72	2,19	1,68

По агрономической ценности навоз, полученный при рыхлом и горячепрессованном способах хранения, уступает полученному при плотном хранении. В свою очередь, горячепрессованный способ приготовления навоза лучше рыхлого.

Помимо способа хранения, на питательную ценность навоза большое влияние оказывает правильное его внесение, предусматривающее мероприятия по исключению потерь элементов питания, прежде всего аммонийного азота, которые могут свести к нулю все усилия по его сбережению в стойлах и навозохранилище. В зависимости от способа доставки удобрений от места накопления к месту внесения различают прямоточную, перегрузочную и перевалочную технологии. Целесообразность той или иной технологической схемы в основном зависит от удаленности полей от мест хранения навоза и наличия соответствующей техники в хозяйствах. При небольших расстояниях доставки (до 3 км) выгодна прямоточная технология, при большем радиусе перевозок, хороших дорожных условиях и обеспеченности автосамосвалами – перегрузочная. Если в хозяйстве ощущается нехватка самосвалов или машин, следует применять перевалочную технологию. Нежелателен разрыв между разбрасыванием и заделкой их в почву.

Навоз вносят в почву после 4–6-месячного хранения. Навоз равномерно разбрасывают по полю и заделывают в почву. Недопустимо оставлять его надолго лежать в поле в мелких кучах или разбросанным по полю и незапаханным, т. к. это ведет к большим потерям аммонийного азота, которые особенно велики в сухую, жаркую погоду и при ветре. Навоз запахивается плугом чаще всего на глубину пахотного слоя. В особенности важна глубокая запашка навоза в районах недостаточного увлажнения, где при неглубокой заделке навоз может остаться в верхнем сухом слое почвы неиспользованным.

Навоз может являться одним из серьезных источников засорения полей. В 1 т навоза может содержаться несколько миллионов штук жизнеспособных семян сорняков. В навоз семена сорных растений попадают из желудочно-кишечного тракта животных, подстилки, содержащей зрелые семена, кормов при раздаче их животным, а также с растений, растущих на буртах при дли-

тельном его хранении. Исследованиями установлено, что проходя через пищеварительный тракт лошадей, сохраняют всхожесть 11,7 % семян сорных растений, коров – 26,4, свиней – 7,4 %. Для предотвращения засорения посевов, после разбрасывания навоза по полю его опрыскивают раствором гербицида и сразу же тщательно перемешивают с почвой дисковой бороной. Не допускается разрыв между опрыскиванием и заделкой навоза в почву. Расход рабочего раствора гербицидов составляет 400–600 л/га. Для обработки используются гербициды, к которым устойчивы возделываемые культуры. Такой способ борьбы с сорняками более эффективен, чем обработка сорняков весной в период вегетации сельскохозяйственных культур.

Нормы внесения навоза определяются почвенно-климатическими условиями, планируемой урожайностью и биологическими особенностями культуры. На севере применяют более высокие нормы, чем на юге и засушливом юго-востоке. На дерново-подзолистых почвах, бедных питательными веществами, навоз вносят в больших количествах, чем на черноземах и высококультурных почвах. Озимые и яровые зерновые при прочих равных условиях требуют менее высоких норм навоза (20–25 т/га), чем кукуруза, картофель, сахарная свекла, конопля и другие, пропашные и технические культуры (26–60 т/га). Самые большие нормы навоза заделывают под кормовые корнеплоды, силосные и овощные культуры.

С достаточной точностью для практики годовую норму внесения навоза (Н) по каждому из питательных элементов можно рассчитать по формуле:

$$H = \frac{100B - PK_{п}}{K_{y} \cdot C \cdot 10},$$

где: Н – норма внесения навоза, т/га;
 В – норма внесения соответственно N, P₂O₅, K₂O под данную культуру на планируемую урожайность, кг д.в.;
 K_y – коэффициент использования питательных элементов растениями;
 С – содержание соответственно N, P₂O₅ и K₂O в навозе, %;
 K_п – коэффициент использования элементов питания из почвы;
 П – наличие в почве доступных N, P₂O₅ и K₂O, кг/га;
 10 – коэффициент пересчета в т/га.

Норма внесения навоза определяется по минимальному количеству одного из трех наиболее дефицитных элементов – азота, фосфора или калия. Недостающее количество двух других питательных веществ вносят в виде минеральных удобрений.

Вносят навоз осенью, а на почвах легкого гранулометрического состава – весной. Зимнее внесение навоза допускается только в условиях, исключающих потери его путем смыва. В первый год внесения навоза из него используется 8–38 % азота, главным образом аммонийного, 30–55 фосфора и 46–80 % калия. Удобрительное действие навоза на тяжелых почвах продолжается до 10 лет, а на легких по гранулометрическому составу – до 4 лет. Соотношение в навозе C:N влияет на усвоение питательных веществ. При соотношении, не превышающем 20:1, и содержании общего азота не менее 2 % к абсолютно сухой массе навоз можно использовать под все культуры, не вызывая азотного голодания растений. В противном случае внесение навоза может привести к увеличению биологической поглотительной способности почвы, уменьшению ее обеспеченности доступными элементами минерального питания и как следствие – снижению урожайности.

7.3.1.2. Бесподстилочный навоз

Бесподстилочный навоз – это смесь кала и мочи животных с примесью воды и остатков корма. В зависимости от содержания в этой смеси воды различают: полужидкий навоз (влажность до 90%), жидкий навоз (влажность 90–93%) и навозные стоки (влажность более 93%). Бесподстилочный навоз в общем балансе органических удобрений занимает около 14 %. Его получают на комплексах промышленного типа при бесподстилочном содержании животных.

Бесподстилочный навоз в зависимости от влажности представляет собой в различной степени текучую, полидисперсную суспензию с квазипластическими текучими свойствами. В недвижимом состоянии он застывает в виде геля, а при движении разжижается до состояния золя. Когда бесподстилочный навоз не движется, твердые частицы высокой плотности начинают осаждаться, он переходит в гелеобразное состояние и текучесть, т.е. его реологические свойства, ухудшаются. Реологические свойства навоза зависят от содержания в нем сухого вещества и коллоидных частиц. Свиной навоз при одинаковом содержании сухого вещества более текуч, чем навоз крупного рогатого скота, что объясняется меньшим содержанием в нем коллоидных частиц. При скармливании кормов с высоким содержанием клетчатки и низким содержанием протеина вязкость навоза повышается. Состав бесподстилочного навоза зависит от вида животных (табл. 107; Васильев В.А., Швецов М.М., 1983).

Таблица 107 – Состав сухого вещества кала животных, %

Вид животных	Зола	Органическое вещество					
		всего	в том числе				
			целлюлоза	лигнин	пентозаны	крахмал	гемилцеллюлоза
КРС	16,2	83,8	26,1	21,3	14,5	0,44	20,4
Свины	13,6	86,4	18,4	15,2	20,7	0,38	27,0
Овцы	22,3	77,7	20,3	19,1	7,7	0,34	10,0

В основном органическое вещество кала представлено структурными веществами с высоким содержанием углерода (целлюлоза, лигнин, пентозаны). В связи с этим отношение С:N в нем довольно широкое (около 18–20). Однако в смеси экскрементов оно сужается за счет азота мочи до 5–9. Кроме того, в моче содержится много мочевины, азот которой составляет примерно 80 % всего азота этого экскремента. Это повышает ценность бесподстилочного навоза как источника доступного азота для питания растений.

Химический состав навоза зависит от технологии хранения, степени разбавления водой, вида животных и корма (табл. 108; Городний Н.М., 1990). При одинаковой влажности перемешанный бесподстилочный навоз свиней содержит, как правило, больше азота и фосфора и примерно в 1,5–2 раза меньше калия, чем навоз крупного рогатого скота. При скармливании животным концентрированных кормов в навозе выше содержание питательных элементов.

В бесподстилочном навозе от 50 до 70 % азота находится в аммонийной форме, в которой он хорошо усваивается растениями в первый же год. Поэтому действие его на первую (удобренную) культуру несколько сильнее, чем подстилочного навоза, а последствие, наоборот, слабее. Азот белковых соединений по мере минерализации органического вещества становится до-

ступным растениям. Фосфор и калий навоза используются растениями не хуже, чем из минеральных удобрений. В год внесения бесподстилочного навоза из него используется 30–50 % азота, 30–35 – фосфора и 60–70 % калия.

Таблица 108 – Химический состав бесподстилочного навоза различной влажности, % сырого вещества

Питательное вещество	Влажность навоза, %		
	88–90	92–94	96–98
Крупного рогатого скота			
N	0,40–0,33	0,27–0,20	0,13–0,07
P ₂ O ₅	0,20–0,17	0,13–0,10	0,07–0,03
K ₂ O	0,40–0,33	0,27–0,20	0,13–0,07
Свиней			
N	0,50–0,42	0,33–0,25	0,17–0,08
P ₂ O ₅	0,25–0,21	0,16–0,12	0,08–0,04
K ₂ O	0,21–0,17	0,13–0,08	0,08–0,03

Количество и качество бесподстилочного навоза зависят от вида и возраста животного, типа кормления, продолжительности откорма или стойлового содержания, количества воды, расходуемой при уборке, и технологии его накопления.

Годовой выход бесподстилочного навоза можно рассчитать по формуле:

$$A = \frac{D_c (K_k + K_m + K_v + n) T}{1000} - П,$$

где: A – выход навоза, т/г.;
D_c – стойловый период животных, сут.;
K_k, K_m – соответственно количества кала и мочи, выделенные одним животным, кг/сут.;
K_v – суточная норма расхода воды на одно животное, л;
n – суточная норма подстилки на одно животное, кг;
T – количество животных, шт.;
П – потери навоза при хранении.

Средний выход бесподстилочного навоза от одной головы крупного рогатого скота составляет 50–60 л/сут. (30–35 л кала и 15–20 л мочи, 5 л технологических вод), от одной свиньи – 12 л/сут. (8 л кала, 2 л мочи и 2 л воды). В производственных условиях за счет технологических вод выход навоза по сравнению с количеством экскрементов животных может увеличиться на 25 %.

Для расчета выхода органических удобрений по хозяйству бесподстилочный навоз с помощью коэффициентов переводится в условный навоз влажностью 75 % (25 % сухого вещества). Коэффициент пересчета (K) устанавливается по формуле:

$$K = \frac{100 - V_{\text{факт}}}{100 - V_{\text{усл}}},$$

где: V_{факт} – фактическая влажность, %;
V_{усл} – условная влажность (75%).

Если влажность бесподстилочного навоза не определяется, можно пользоваться следующими коэффициентами пересчета в условный навоз: полужидкий – 0,5, жидкий – 0,2, навозные стоки – 0,06.

Объемная масса бесподстилочного навоза близка к 1, т. е. масса 1 м³ составляет 1 т. На крупных животноводческих комплексах выход бесподстилочного навоза при самосплаве составляет для комплексов на 1200 коров около 30 тыс. т в год, на 10 тыс. бычков – около 110 тыс., на 100 тыс. свиней – около 100 тыс. т.

Удаление бесподстилочного навоза из животноводческих помещений и с территории комплексов и ферм состоит из трех последовательно выполняемых операций: очистки и уборки площади, на которой находятся животные, транспортировки навоза в навозосборник, а из него в навозоприемники и навозохранилища.

Транспортировка навоза от животного до навозосборника осуществляется механическим и гидравлическим способами.

Для механического удаления навоза в животноводческих помещениях применяют скребковые и штанговые транспортеры, скреперные установки, бульдозеры. Гидравлический способ осуществляется путем применения различных систем гидросмыва, самотечно-сливной системы периодического действия (отстойно-лотковая или шиберная система), самотечно-сплавной системы непрерывного действия, самотечно-сплавных систем в сочетании с рециркуляцией.

Гидросмыв по каналам предусматривает ежедневное удаление экскрементов водой, которую подают к смывным насадкам по специальной сети или из смывных бачков, подключенных к общей водопроводной сети.

Бесканальный смыв предусматривает ежедневное удаление экскрементов из зоны дефекации с помощью гидравлической установки с высоким давлением смывных струй.

Самотечно-сплавная система периодического действия предусматривает накопление экскрементов в продольных каналах навозоудаления. Выход из них перекрыт шиберами (задвижками). Объем каналов обеспечивает накопление навоза в течение одной-двух недель. Периодический выпуск бесподстилочного навоза из каналов навозоудаления осуществляется путем открытия шиберов.

Самотечно-сплавная система непрерывного действия предусматривает удаление навоза через открытый конец канала под действием силы тяжести.

Рециркуляционная система предусматривает использование осветленной жидкой фракции бесподстилочного навоза для промывки каналов навозоудаления.

Между животноводческими помещениями и навозохранилищами, помимо навозосборников, должно быть не менее трех карантинных навозоприемников. Их используют для промежуточного выдерживания навоза в течение 6 дней. При отсутствии на комплексе особо опасных заболеваний навоз по прошествии этого времени (6 сут.) перекачивают в навозохранилище. При необходимости его обеззараживают на очистных сооружениях путем термической обработки или специальными химическими препаратами. Наиболее доступно обеззараживание способом метанового брожения, при котором не происходит потерь органического вещества и азота, а кроме того получается горючий газ, который можно использовать как топливо.

Бесподстилочный навоз хранят в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий от 2 до 6 мес. Для этого необходимы прифермские и полевые хранилища. Емкость прифермских хранилищ закрытого типа должна составлять 25–40 % объема навоза, накапливаемого в течение 2–3 мес. Остальные 75–60 % навоза хранят в полевых навозохранилищах, представляющих собой открытые котлованы с пленочным покрытием дна и откосов, размещаемых в центре удобряемых массивов. Как прифермские, так и полевые навозохранилища должны быть надежно гидроизолированы, в противном случае они могут быть источниками загрязнения грунтовых вод и водоемов.

Бесподстилочный навоз при хранении расслаивается на три фракции: верхний слой – плотный плавающий, внизу – осадок, а между ними – осветленная жидкость. Чтобы обеспечить однородность навозной массы, нормальную работу насосов, цистерн-разбрасывателей, дождевальных установок и равномерное его внесение, навоз необходимо систематически перемешивать.

Потери органического вещества и азота при хранении бесподстилочного навоза составляют соответственно в зимнее время 5–8 и 9–8 %, летом – 9–15 и 4–14%. Это значительно меньше, чем при хранении подстилочного навоза. В бесподстилочном навозе процессы самосогревания не протекают; его температура не повышается выше 10–17 °С.

Внесение бесподстилочного навоза на поля может проводиться по следующим технологическим схемам: 1) прифермское хранилище – трубопровод – дождевальная установка (или цистерна-разбрасыватель) – поле; 2) прифермское навозохранилище – цистерна-разбрасыватель – поле; 3) прифермское навозохранилище – трубопровод – поле – хранилище – цистерна-разбрасыватель; 4) разделение навоза на твердую и жидкую фракции, первая вносится, как и подстилочный навоз, вторая – по одной из трех первых схем, но чаще с помощью дождевальных установок.

Для обеспечения безотказной работы сооружений, механизмов, оборудования и машин, применяемых для хранения, погрузки, транспортировки и внесения навоза, все это соответствующим образом подготавливают: извлекают из него инородные включения и крупные частицы, измельчают остатки корма, перемешивают, разделяют на фракции, а иногда подвергают различным обработкам.

При расчете норм внесения бесподстилочного навоза принимают во внимание потребность удобряемой культуры в питательных веществах, тип почвы и ее обеспеченность элементами питания, предшественник, расстояния транспортировки, размеры накопления навоза. В таблице 109 приводятся рекомендуемые нормы в расчете на ежегодное внесение бесподстилочного навоза (Васильев В.А., Швецов М.М., 1983).

На естественных и культурных сенокосах и пастбищах с высокой насыщенностью травостоя бобовыми растениями норма навоза уменьшается. На пастбищах бесподстилочный навоз лучше вносить зимой, до начала вегетации или по окончании вегетации трав. При подкормке пастбищ в период вегетации ухудшается поедаемость зеленого пастбищного корма, поэтому она проводится сразу же после стравливания. Не допускается ее выполнение менее чем за 25–30 дней до очередного стравливания.

В крупных животноводческих хозяйствах необходимо стремиться к круглогодичному использованию навоза. Зимой не рекомендуется применять бесподстилочный навоз лишь на затопляемых участках и склонах, где возможен его смыв тальми водами.

Бесподстилочный навоз целесообразно применять по разбросанной по полю измельченной соломе. После уборки зерновой культуры на поле обычно остается 5–7 т/га соломы. Ее измельчают и разбрасывают непосредственно при уборке зерновыми комбайнами или косилками-измельчителями и на нее вносят 80–100 т жидкого навоза. Затем солому и внесенный навоз заделывают в почву на глубину пахотного слоя. Рациональный способ использования бесподстилочного навоза – компостирование его с торфом, соломой, другими растительными остатками. Для приготовления компоста с соломой на 1 т ее берут 3–4 т бесподстилочного навоза.

Таблица 109 – Годовая норма, срок внесения и способ заделки бесподстилочного навоза крупного рогатого скота

Культура	Норма, т/га*	Время внесения	Способ заделки
Зерновые Озимые на зерно	35 25	Под основную обработку Зимой для подкормки	Под плуг Весеннее боронование
Картофель	40–60	Осенью, зимой и весной под весеннюю вспашку	Под плуг
Сахарная свекла	50–60	Осенью, зимой и весной под весеннюю обработку	Под плуг или дисковый луцильник
Кормовая свекла	80–90	То же	То же
Кукуруза на зеленый корм и силос	60–80	» »	» »
Многолетние злаково-бобовые травосмеси	60–80**	Зимой и после укосов	Боронование после укосов
Луга	50–60**	То же	То же
Пастбища	50–60	По окончании вегетации, зимой до вегетации, при удобрительных поливах после стравливания	Боронование в начале вегетации
Однолетние травы	30–40	Осенью под зябь, зимой или весной под предпосевную обработку	Под плуг, дисковый луцильник
Рожь на зеленый корм	35	Под вспашку или предпосевную обработку	Под плуг, дисковый луцильник, культиватор

* Нормы даны в расчете на не разбавленный водой бесподстилочный навоз, содержащий около 0,4 % азота.

** Годовая норма вносится частями в 2–3 срока.

Для получения максимального эффекта от использования бесподстилочного навоза в качестве удобрений В.А. Васильев (1988) рекомендует соблюдать следующие требования:

- не накапливать длительное время, т. к. это приводит к переполнению емкостей, загрязнению окружающей среды и распространению инфекции и инвазий;
- норму внесения определять по потребности растений в азоте в расчете на планируемый урожай с учетом содержания его в навозе, коэффициента использования, степени окультуренности почвы и наличия удобрений в хозяйстве; она должна быть не выше потребности в нем растений;
- применять навоз надо главным образом на тех полях, где его можно быстро заделать в почву;
- в осеннее время бесподстилочный навоз вносят в первую очередь на почвах с высокой емкостью обмена. На легкосуглинистых, супесчаных и песчаных почвах его применяют в сочетании с соломой или под озимые промежуточные культуры во избежание потерь питательных веществ от вымывания;
- следует избегать внесения навоза в зимний период на затопляемых весной участках, а также на склонах, где возможен смыв удобрений тальми водами. На склонах его можно применять лишь при условии своевременной заделки в почву;
- под парозанимающие культуры навоз вносят под зяблевую вспашку. Если их рано убирают (вико-овсяную смесь на зеленый корм), то навоз заделывают под вспашку после уборки этих культур;

– целесообразно вносить навоз большей частью на полях, где выращивают промежуточные культуры или используют солому для удобрения; при совместном применении бесподстилочного навоза и соломы в почву поступает в 1,5 раза больше органического вещества, чем при использовании подстилочного;

– при углублении пахотного слоя навоз не следует применять под глубокую вспашку. Лучше его внести на вывернутый малопродуктивный слой почвы перед перепашкой или дискованием;

– в районах безотвальной обработки почвы навоз следует вносить под пропашные и зерновые культуры, а заделывать под отвальную вспашку, которая обычно чередуется с безотвальными обработками. Если невозможно быстро запахать навоз, его заделывают широкозахватными лушпильниками или дисковыми боронами вслед за разбрасыванием;

– во избежание накопления нитратов в получаемой продукции и грунтовых водах, ежегодно удобрять максимальную площадь пашни умеренными нормами навоза. Лучше внести на всю площадь сельскохозяйственных угодий по 30 т/га, чем на половину – по 60 т/га. Исключение составляют только сильноистощенные почвы, которые нуждаются в больших нормах органических удобрений для быстрейшего окультуривания. При сплошном применении норма бесподстилочного навоза под зерновые культуры не должна быть ниже 15, а под пропашные – 25 т/га, иначе его трудно равномерно разбросать и он не всегда обеспечивает высокие прибавки урожая;

– за счет навоза удовлетворять 50–80 % потребности растений в азоте;

– при внесении в чистом пару под озимые культуры не дополнять навоз азотными удобрениями, т. к. в паровом поле, особенно при высоком содержании гумуса в почве, обычно накапливается значительное количество нитратов.

Этот перечень следует дополнить еще одним предостережением. При использовании бесподстилочного навоза; особенно с нарушением технологии его внесения, существует опасность загрязнения водоемов, грунтовых вод, почвы нитратами. Систематическое его внесение на одни и те же участки может вызвать накопление в почве калия, кальция, магния, натрия, тяжелых металлов, ионов хлора и сульфат-ионов, что отрицательно скажется на химических и физических свойствах почвы и может привести даже к ее засолению. Из-за внесения больших норм бесподстилочного навоза может повыситься содержание нитратов в растениях, особенно в ранние фазы их развития.

Основная причина неэффективного использования бесподстилочного навоза вызвана тем, что в местах большой концентрации животных нарушен принцип сбалансированного круговорота питательных веществ в земледелии из-за нерационального размещения животноводческих комплексов с бесподстилочным содержанием животных, а также несоответствия поголовья скота наличию площадей, на которых возможна нормативная утилизация стоков. Вторым не менее важным недостатком является невысокий уровень механизации процессов переработки и применения бесподстилочного навоза.

7.3.1.3. Навозная жижа

Навозная жижа – это жидкая часть экскрементов животных, не удерживаемая подстилкой. За время стойлового периода содержания накопление навозной жижи от крупного рогатого скота составляет 15 % от выхода навоза за этот период. Навозная жижа также получается при разложении навоза в навозохранилище.

Для сбора навозной жижи на скотных дворах необходимо устраивать специальные желоба, по которым жидкие выделения животных отводятся в жи-

жесборники. Чаще всего это плотно закрытые колодцы глубиной 1–1,5 м, стенки которых делают из непроницаемого для жидкости материала.

В животноводческих комплексах промышленного типа сбор жижи происходит следующим образом. С ферм животноводческого комплекса жидкая фракция навоза через решетки, устанавливаемые в хранилищах, и жижесборные каналы поступает в пруд-отстойник, а из него – в пруд-накопитель. Разбавляют жижу и добавляют в нее минеральные удобрения в пруду-смесителе, связанном с системой орошения, откуда жидкая фракция по системе трубопроводов направляется на поля и культурные пастбища.

Состав навозной жижи бывает различным, в зависимости от условий, в которых она образуется и хранится. В нее переходят преимущественно легко растворимые в воде соединения, поэтому жижа сравнительно богата калием, азотом и содержит мало фосфора. В ней содержится в среднем 0,22 % N, 0,01 – P₂O₅ и 0,46 % K₂O.

Азот и калий в навозной жиже находятся в водорастворимой и легкодоступной для растений форме. Азот содержится главным образом в форме мочевины [CO(NH₂)₂], которая под влиянием уробактерий быстро превращается в карбонат аммония [(NH₄)₂CO₃], который легко разлагается с образованием CO₂, H₂O и NH₃. Этот процесс идет очень быстро, поэтому основная масса азота в навозной жиже содержится в виде углекислого аммония. Основная задача при хранении навозной жижи – уменьшить потери аммиака. Это достигается применением на скотных дворах торфа. По мере насыщения торфа жижей его убирают и складывают в навозохранилище, в компостные кучи. Для уменьшения потерь аммиака в жижесборник добавляют суперфосфат:



Если при стекании жижа долго соприкасается с воздухом, то происходит улетучивание аммиака, и она обедняется азотом. Чем меньше период соприкосновения со свежим воздухом, тем больше азота сохраняется в навозной жиже, и тем ценнее она как удобрение.

Для уменьшения потерь азота рекомендуют поверхность жижи в жижеприемнике покрывать слоем нефти или отработанного тракторного масла (по расчету 3 л масла на 1 м² поверхности жидкости). В дополнение к этому можно помещать на поверхность жижи плавающие деревянные крышки (проемные), что уменьшает расход масла.

Общее количество навозной жижи, получаемой за год от разных видов животных, зависит от продолжительности стойлового периода, количества и качества подстилки и кормов, устройства скотного двора и навозохранилища. От одной головы крупного рогатого скота за стойловый период (220–240 дней) накапливается в среднем 2–2,5 м³ навозной жижи, такое же количество получают от трех голов молодняка крупного рогатого скота до двух лет и от 10–12 телят. Это количество жижи равноценно примерно 10 кг калия и 5 кг азота.

Навозную жижу можно вносить в основное удобрение и в подкормку, а также использовать для приготовления компостов с торфом. При поверхностном внесении навозной жижи для подкормки используют цистерны-разбрасыватели типа РЖТ-4 и РЖТ-8. Для равномерного распределения по полю, сокращения потерь азота и предотвращения ожога растений навозную жижу разбавляют водой до содержания в ней азота около 0,2 %. При подкормке пропашных культур навозную жижу следует вносить при помощи цистерн с подкормочным приспособлением ПРЖ-1,7, обеспечивающим внесение удоб-

рения в почву на нужную глубину и без потерь азота. При этом способе внесения не следует разбавлять водой даже концентрированную жижу.

Норму навозной жижи обычно рассчитывают, исходя из содержания в ней азота. Средняя норма ее внесения составляет 10–20 м³/га, что соответствует примерно 25–50 кг/га азота и 50–100 кг/га калия.

Высокий эффект обеспечивает использование навозной жижи на лугах и для подкормки озимых зерновых, пропашных и овощных культур. Поскольку жижа почти не содержит фосфора, целесообразно одновременно применять фосфорные удобрения. При поверхностном внесении навозной жижи до посева или в подкормку ее необходимо немедленно заделать в почву, чтобы сократить потери азота. Задержка с заделкой на 2–4 дня снижает эффективность агроприема на 30–50 %.

7.3.2. Птичий помет

Птичий помет – это продукт, выделяемый из организма птицы в виде смеси мочи и кала, серо-зеленого цвета, комковато-пористой структуры. Как и навоз, птичий помет содержит все макро- и мезоэлементы, необходимые растениям, но в значительно большем количестве. Это объясняется тем, что птица питается более концентрированными кормами (табл. 110; Вильдфлуш И.Р., Кукреш С.П., Цыганов А.Р. и др., 2000).

Таблица 110 – Содержание воды и питательных элементов в птичьем помете, % сырой массы

Вид птицы	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Куры	56	2,2	1,8	1,1	2,4	0,7	0,4
Утки	60	0,8	1,5	0,5	1,7	0,3	0,3
Гуси	80	0,6	0,5	0,9	0,6	0,3	1,1

Помет богат микроэлементами: в 100 г сухого вещества содержится 15–38 мг марганца, 12–39 – цинка, 1–1,3 – кобальта, 0,5 – меди, 367–900 мг железа. Микроэлементы высвобождаются по мере разложения органического вещества, поэтому более длительное время доступны растениям, чем микроэлементы минеральных добавок, которые действуют временно, пока не произойдет химическое связывание их в труднодоступные формы. В помете содержится 15–40 % золы, 2,8–4,5 – жира, 14–25 – клетчатки, 46–48 % безазотистых экстрактивных веществ. В помете гусей и уток, питающихся более водянистым кормом, содержится меньше питательных веществ и больше воды, чем в помете кур. Количество питательных элементов в птичьем помете может в значительной степени колебаться в зависимости от способа содержания птицы.

В птицеводстве различают четыре способа содержания птицы: выгульный, клеточный, вольерный, комбинированный.

Выгульное содержание кур или выгульно-пастбищное содержание гусей, индеек, уток применяют на племенных и товарных фермах хозяйств, а также в цехах родительского стада птицефабрик.

Клеточное содержание характерно в основном для крупных специализированных птицефабрик, расположенных вблизи городов и промышленных центров.

Вольерное содержание. Поголовье находится под открытым небом на территории, огражденной сеткой, или в постройках легкого типа с навесом и

открытым фасадом. Пол под навесом делают из металлической сетки. Помет убирают 1–3 раза в год.

Комбинированный способ содержания применяют на птицефабриках и крупных товарных фермах при выращивании молодняка.

Выгульное и вольерное содержание птицы считается напольным. Оно может быть подстилочным на несменяемой глубокой подстилке и бесподстилочным на сетчатом или планчатом полу. При этом получают подстилочный (твердый, влажностью до 70 %) или бесподстилочный (полужидкий, влажностью 70–90 %) помет. При клеточном содержании образуется бесподстилочный жидкий помет (влажностью более 90 %).

Содержание птицы на подстилке имеет положительные и отрицательные стороны. Для подстилки чаще пользуют торф, солому, подсолнечную лузгу, дробленые подсолнечные стебли и листья деревьев. Влажность торфа не должна превышать 45–50 %, других видов подстилки – 25–30 %. Подстилка, особенно из торфа, понижает влажность в птичниках, очищает воздух, поглощая жидкость и газы. Применение торфяной подстилки исключает заболевания птицы кокцидиозом и простудными болезнями, уничтожает паразитов, способствует эффективному использованию корма и повышает продуктивность птицы. Кроме того, подстилка способствует консервации питательных элементов помета, предохраняя их потери. Отрицательной стороной подстилочного содержания птицы является низкая плотность посадки птицы на 1 м² помещения. Периодичность смены подстилки в год для кур – 1 раз, для других видов птицы – после каждой партии. Ежедневно для одной курицы требуется 100–150 г подстилки, для утки, гуся и индейки – 200–250 г.

Выход помета зависит от вида и возраста птицы (табл. 111; Новиков М.Н., Хохлов В.И., Рябков В.В., 1989).

Таблица 111 – Выход помета от 1000 голов птицы, кг /сут.

Вид птицы	Влажность помета, %	Возраст птицы, сут.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	22	>22
Яичные куры и цыплята	75	4	14	24	39	61	82	97	114	128	175	189
Мясные куры и цыплята	75	11	46	92	130	140	170	200	230	250	280	300
Бройлеры	76	10	45	90	125	144	182	240	250	–	–	–
Индейки (легкий кросс)	76	30	981	24	182	224	260	280	310	320	350	378
Индейки (средний и тяжелый кросс)	75	28	82	125	175	200	225	280	310	361	390	420
Гуси и гусята	83	50	140	280	330	360	390	440	450	480	490	490
Утки и утята	83	30	60	90	120	170	200	210	220	230	250	250

Среднегодовая норма выхода помета с учетом усушки до 65–70 % составляет на 1 голову взрослой птицы 6,2 и молодняка – 4,2 кг.

При клеточном содержании птицы возможно попадание воды в помет из поилок, а также в результате искусственного разбавления для облегчения его удаления. Выход помета при добавлении в него воды может быть определен по следующей формуле:

$$M_p = M_n \frac{100 - B_2}{100 - B_1},$$

где: M_p – масса помета, разбавленного водой, т;
 M_n – масса помета естественной влажности, т;
 B_2 – естественная влажность, %;
 B_1 – фактическая (повышенная) влажность помета, %.

Если учесть, что средняя влажность разбавленного помета составляет 85 %, а $M_n = 1$ т, то $M_p = 1 \cdot (85 - 70) : (100 - 70) = 1 \cdot (15 : 30) = 0,5$ т. Следовательно, при разбавлении водой на 15 % масса помета возрастает на 50 %.

Хранить подстилочный помет в кучах нельзя, т. к. он сильно разогревается, что сопровождается потерями азота, достигающими за 1,5–2 месяца хранения 30–60 % от общего содержания его в помете. Применение глубокой подстилки при напольном содержании птицы – наиболее надежный прием сохранения азота в помете, улучшения его физических свойств, снижения затрат труда. Подстилка – прекрасный способ консервации питательных веществ помета и предотвращения их потери. Естественно, что при этом улучшаются физические свойства удобрения, помет теряет липкость, а в птичнике создаются более благоприятные санитарно-гигиенические условия и, как следствие, повышается продуктивность кур.

Для хранения пометов плотно укладывают в бурты несколько меньших размеров, чем для навоза (ширина основания 4–5 м, высота – 1,5–2,0 м, длина произвольная). Их укрывают 10–15 см слоем почвы, содержащей не более 25 % перегноя. Если влажность помета ниже 60 %, его увлажняют. При чрезмерном разогреве помета (свыше 55–60 °С) увлажнение следует повторить во избежание аэробных условий хранения.

В бурты при закладке добавляют один из компонентов: 5–7 % суперфосфата, 10–15 – фосфоритной муки или 5 % фосфогипса. При длительном хранении помета их норму минеральных удобрений целесообразно увеличить 10–15 %. Для сохранения нитратов при длительном хранении и предотвращении промерзания помета в бурты рекомендуется добавлять 0,5–2,0 % хлористых калийных солей. Для предотвращения разложения мочевины в бурты добавляют отходы марганцеворудной промышленности или сульфат марганца.

Добавление сернокислого марганца в количестве 0,25 г/кг помета почти полностью предотвращает разложение мочевины, в результате чего потери азота значительно снижаются (за 5 дней на 1,5 %, а за 10 дней – на 2,1 %). Примерно такой же эффект обеспечивается и в том случае, когда вместо сернокислого марганца используют в 10–30 раз большие нормы отходов марганцеворудной промышленности.

Из общего количества помета, получаемого на птицефабриках, около 80 % составляет бесподстилочный влажностью 75–90 % и выше. В среднем одной птицефабрикой мощностью 500 тыс. кур-несушек или 6 млн. бройлеров ежедневно производится до 125 т помета и 150 м³ сточных вод.

Наиболее целесообразным приемом утилизации бесподстилочного помета является приготовление на его основе различных компостов, что наряду с сохранением и наиболее полным использованием питательных веществ позволяет увеличить объем накопления и применения качественных органических удобрений.

Технологический процесс производства компостов включает в себя следующие операции:

- хранение и подачу на смешивание помета, влагопоглощающего материала и минеральных добавок;
- смешивание компонентов и формирование смеси в бурты;
- выдерживание сформированных буртов смеси на площадке компостирования с периодической аэрацией смеси;
- хранение компостов.

Производство пометных компостов осуществляется на открытых площадках, в механизированных компостохранилищах, в стационарных механизированных цехах.

Бесподстилочный помет компостируют с торфом, соломой, опилками, лигнином, древесной корой, дерниной и другими влагопоглощающими материалами. При компостировании азот влагопоглощающих материалов под влиянием помета минерализуется и становится доступным для растений. Он уменьшает также кислотность торфа и других наполнителей, создает более благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в разложении органических веществ. С другой стороны, влагопоглощающие материалы задерживают жижу и аммиачный азот, которые выделяются при разложении помета, тем самым предотвращаются их потери.

Наиболее качественные по удобрительным свойствам пометные компосты получают на основе торфа и соломы (табл. 112; Новиков М.Н., Панов Е.П., 1988).

Таблица 112 – Состав пометных компостов при 70 % влажности, % сухого вещества

Вид компоста	Зольность	pH	N _{общ}	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Торфопометный (1:1)	11,3	6,6	0,83	0,40	0,74	0,41
Торфопометный (1:2)	10,2	6,8	0,94	0,51	1,05	0,33
Торфопометный (2:1)	13,1	6,5	0,87	0,30	0,66	0,37
Торфопометный с фосфогипсом (1:2:0,3)	10,7	6,4	0,98	0,22	0,90	0,34
Соломопометный (1:1)	8,6	6,8	0,82	0,44	0,95	0,64
Опилкопометный (1:1)	11,4	6,7	0,61	0,32	0,42	0,26
Коропометный (1:1)	16,5	6,5	0,73	0,20	0,65	0,27
Лигнинопометный (1:1)	17,3	6,3	0,56	0,25	0,65	0,19
Дерновопометный (1,5: 1)	–	6,7	0,40	0,18	0,30	0,21

Количество влагопоглощающего материала, необходимого для смешивания с 1 т помета, определяют по формуле:

$$M = \frac{W_{п} - W_{с}}{W_{с} - W_{т}},$$

где: M – масса наполнителя, т;
W_п, W_т, W_с – влажность соответственно помета, торфа (соломы) и их смеси, %.

Суточная потребность во влагопоглощающих материалах рассчитывают по формуле:

$$M_c = M \times C_{\text{п}},$$

где: $C_{\text{в}}$ – суточный выход помета, т.

Готовые компосты должны иметь мелкокомковатую сыпучую структуру с размером частиц не более 120 мм, влажность – 60–70 %, слабощелочную или нейтральную реакцию среды, содержать не менее 75 % органического вещества с соотношением C:N = 20:30 и питательные вещества в легкодоступных для растений формах в количестве не менее 50 % от общего содержания.

В компостах должны отсутствовать яйца и личинки гельминтов, патогенная микрофлора в опасных концентрациях, жизнеспособные семена сорняков, а также запах помета. Содержание инородных нетоксичных включений допускается не более 1 %.

На птицефабриках при содержании птицы в клеточных батареях лучший способ сохранения питательных веществ помета – термическая сушка при температуре +600–800°C. При термической сушке масса сырого птичьего помета уменьшается в 3–4 раза, а физические свойства сухого удобрения позволяют вносить его в почву практически всеми машинами, предназначенными для разбрасывания минеральных удобрений. Сушка помета способствует уничтожению патогенных бактерий, яиц гельминтов и семян сорняков. В процессе термической обработки сырой помет превращается в сыпучее вещество влажностью 12–14 %. Из 1 т влажностью 65–70 % получается до 300–350 кг сухого помета.

Термически высушенный птичий помет не имеет неприятного запаха и может быть упакован в мешки. Это высококонцентрированное органическое удобрение, в котором содержится до 80 % органического вещества, 4–6 % N, 4–5 – P₂O₅, 2,0–2,5 – K₂O, 5–6 % CaO. Азотистые соединения представлены, главным образом, белками и продуктами их распада; доля небелкового азота не превышает 10–12 % общего; рН 6,8–7,8. При термической сушке в барабанной сушилке помет подвергается грануляции с образованием (до 75 % по массе) гранул размером от 1 до 5 мм; пылящая фракция (менее 1 мм) составляет не более 15 %. В высушенном и упакованном в мешки помете во время хранения практически полностью сохраняются органические вещества и азот при условии, если влажность помета не превышает 25 %. При хранении такого помета в течение шести месяцев из него теряется всего 2–8 % азота и 4–11 % органического вещества. Элементы питания здесь находятся в легкодоступной для растений форме, поэтому при внесении их в почву заметно улучшается ее пищевой режим.

В помете большая часть соединений азота представлена углекислым аммонием. В почве он нитрифицируется. Чем выше норма внесения компоста, тем больше в почве содержится нитратов. Поэтому нельзя на одних и тех же земельных участках ежегодно применять высокие нормы помета, особенно жидкого и полужидкого, т. к. это не способствует дальнейшему росту урожая, а увеличивает выше допустимых пределов содержание нитратов в почве и в зеленой массе кормовых культур, овощах и картофеле.

По действию на урожайность культур помет ближе к минеральным удобрениям, чем к навозу. Но последствие помета выше, чем минеральных туков, т. к. часть азота в нем находится в органической форме и постепенно переходит в доступное для растений состояние.

Большая часть фосфора в помете, представленная органическими соединениями, слабо закрепляется в почве в виде фосфатов железа, алюминия и кальция, и по мере минерализации органического вещества усваивается растениями. Поэтому фосфор из помета усваивается лучше, чем из минеральных удобрений. Поскольку помет является в основном азотно-фосфорным удобрением, то требуется дополнительное внесение калия.

Подстилочный помет и компосты на его основе целесообразно применять в сочетании с полным минеральным удобрением под пропашные культуры с длительным вегетационным периодом. При этом нормы минеральных туков, вносимых совместно с пометом, необходимо уменьшить на 30–50 % по сравнению с применяемыми без органических удобрений.

М.Н. Новиков, В.И. Хохлов и В.В. Рябков (1989) предлагают следующие схемы применения птичьего помета и минеральных удобрений:

- одновременная заделка птичьего помета и минеральных удобрений весной под яровые и летом под озимые культуры;
- внесение птичьего помета и фосфорно-калийных удобрений под зяблевую обработку почвы и азотных – весной под культивацию зяби под пропашные культуры;
- внесение птичьего помета удобрений осенью под зябь, минеральных – весной под культивацию зяби;
- внесение птичьего помета удобрений под зябь, минеральных – локально при нарезке гребней или при посадке клубней картофеля в гребни;
- внесение птичьего помета удобрений под парозанимающую фуражную или сидеральную культуру, а минеральных – под озимые зерновые.

При использовании птичьего помета особенно важно следить за равномерным его разбрасыванием и немедленной заделкой в почву. Равномерность разбрасывания необходима для избежания очагов с высокой концентрацией питательных элементов. Немедленная заделка обусловлена тем, что в помете содержится большое количество азота в аммиачной форме, улетучивающегося при поверхностном внесении.

Нормы внесения помета устанавливаются, как правило, на основании потребности удобряемых культур в азоте и содержания его в удобрении. Нормы помета и компостов на его основе в различных почвенно-климатических зонах разные (табл. 113; Новиков М.Н., Панов Е.П., 1988).

На слабо окультуренных почвах они соответственно на 2–3 и 5–8 т/га выше, чем на окультуренных. Действие птичьего помета усиливается при внесении их в сочетании с минеральными удобрениями в половинных нормах от рекомендуемых.

Птичий помет используется в качестве основного удобрения и при подкормке растений. Как основное удобрение, его используют в первую очередь под пропашные культуры. В связи с низким содержанием калия в курином помете его дополняют калийными удобрениями, в особенности на легких песчаных и супесчаных почвах при использовании под культуры, требовательные к этому элементу питания. При норме 2–5 т/га высушенный куриный помет разбрасывают по полю машинами типа РУМ-3. Для более высоких норм помета используют навозоразбрасыватели.

В районах достаточного увлажнения помет и его компосты можно заделывать дисковыми орудиями и культиватором. В степных и засушливых районах, а также на песчаных и супесчаных почвах независимо от климатических условий более эффективно запахивание.

Таблица 113 – Примерные нормы внесения птичьего помета, т/га

Культура	Помет				Компост
	сухой	естественной влажностью	подстилочный	жидкий	
Дерново-подзолистые почвы					
Озимые зерновые	3–4	13–15	10–15	45–50	20–25
Яровые зерновые	3	8–10	10–15	20–25	20–25
Картофель	4–5	15–20	20–25	60–70	40–50
Кукуруза на силос	4–5	15–20	15–20	60–70	40–60
Кормовые корнеплоды	4–5	15–20	15–20	60–70	30–50
Кормовая капуста	4–5	15–20	15–20	60–70	40–60
Овощные	6–8	20–25	20–25	60–70	40–60
Однолетние травы	–	–	12–15	50	20–30
Многолетние травы	5–8	10–15	–	30	–
Сенокосы и пастбища	–	–	–	30–40	–
Черноземы и серые лесные почвы					
Зерновые	2–5	5–7	6–8	20–25	10–15
Картофель	2–4	7–12	10–15	–	20–25
Кукуруза	6–10	7–12	10–15	60–80	20–25
Сахарная свекла	5–8	7–12	10–15	50–60	20–25
Кормовые корнеплоды	5–8	7–12	10–15	50–60	20–25
Технические	5–8	10–12	12–15	–	20–25
Овощные	5–8	10–12	10–15	30–40	30–40
Однолетние травы	–	5–8	8–10	23–25	10–15
Многолетние травы	–	–	–	15–20	–
Луга и пастбища	–	–	–	20–30	–
Чистый пар	–	5–8	7–10	30–40	15–20

Птичий помет биологически весьма активен. В результате ферментативного и микробного разложения органического вещества образуются сероводород, углекислый газ, аммиак, метан и окись углерода, которые представляют опасность для людей, работающих в закрытых цехах и помехохранилищах. Чаще всего приходится иметь дело со смесью воздуха и этих газов. Попадание такой смеси в организм человека вызывает паралич обоняния, удушье, падение пульса, потерю сознания. Поэтому при работе с удобрениями (удалении помета из птичников, подготовке его к использованию, хранении и внесении в почву) следует неукоснительно соблюдать правила техники безопасности и производственной санитарии.

7.3.3. Фекалии

Фекалии представляют собой смесь кала и мочи человека. Свойства экскрементов в значительной мере определяются продуктами питания человека, которые обладают сравнительно высокой переваримостью и содержат много белков. Поэтому для выделений человека характерно относительно большое содержание азота и количественное преобладание жидких выделений над калом, который состоит из неперевавшихся частей пищи и продуктов секреции кишечника. Количество и состав экскрементов сильно зависят от качества пищи, возраста человека и т. п. В среднем один человек выделяет в год около 50 кг кала и 450 кг мочи (табл. 114, 115; Гусев С.П., Ромашкевич И.Ф., 1964).

Таблица 114 – Содержание азота, фосфора и калия в испражнениях человека, % сырой массы

Показатель	Моча	Кал	Смесь кала и мочи
Вода	94,80	77,20	93,00
Сухое вещество	5,20	22,80	7,00
Органические вещества	4,20	19,40	5,70
Зола	1,00	3,40	1,30
N	1,00	1,60	1,10
P ₂ O ₅	0,15	1,23	0,26
K ₂ O	0,18	0,55	0,22

Таблица 115 – Выделение фекалий взрослым человеком, кг/год

Показатель	Моча	Кал	Смесь кала и мочи
Общая масса	438,00	48,50	486,50
Сухое вещество	23,00	11,00	34,00
Органические вещества	18,20	9,40	27,60
N	4,40	0,80	5,20
P ₂ O ₅	0,66	0,60	1,26
K ₂ O	0,81	0,27	1,08
CaO	0,08	0,29	0,37

Суммарно экскременты содержат примерно раз в пять больше азота, чем фосфора и калия. Большую часть составляет азот мочи, которая содержит его главным образом в виде мочевины. Из других составных частей экскрементов надо отметить довольно большое содержание в них хлористого натрия, который в моче составляет около 1 %. Для твердых выделений характерно большее количество микроорганизмов.

Удобрительная ценность фекальных масс в значительной степени зависит от способа их сбора и хранения. В сельской местности наиболее распространена примитивная система выгребных ям, из которых несколько раз в течение года производится вывозка. При хранении в ямах происходит значительное обеднение фекальных масс элементами питания. За 2–3 месяца нахождения в яме количество азота в них уменьшается примерно в 2 раза вследствие улетучивания аммиака, образующегося при гидролизе мочевины. Кроме того, часть жидкости просачивается в грунт, что, в свою очередь, увеличивает потери питательных веществ. Выделение газов при разложении фекальных масс в ямах и просачивание в грунт, кроме потери питательных веществ, делают систему выгребных ям неблагоприятной и с санитарной стороны. С целью обеззараживания и уничтожения зловонного запаха фекальную массу засыпают сфагновым торфяным порошком из расчета одна часть торфа на 6–7 частей нечистот и тщательно перемешивают до образования однородной массы. При отсутствии торфа применяется едкая известь. Однако добавление Са(ОН)₂ в фекальную массу увеличивает потери азота и снижает ее удобрительную ценность.

В настоящее время, все чаще используют локальные очистительные сооружения. Это сертифицированные очистительные установки, сочетающие в себе процессы очищения, обеззараживания и водоотведения, как в естественных, так и в искусственных условиях (возможно и их сочетание). Это могут быть ло-

кальные подземные поля фильтрации или фильтрующий колодец, если грунт песчаный или супесчаный. Для тяжелых грунтов (суглинков или глин) обычно применяются бионасыпные системы с водопоглощающими скважинами.

В сельской местности торфо-фекальные компосты получают непосредственно на торфяном поле, смешивая фекалии с торфом в компостных кучах. После 2–3-х месячного компостирования эту смесь используют как удобрение.

Полученные на основе фекалий компосты быстродействующие и вносят их до посева из расчета 5–25 т/га. В чистом виде фекальные удобрения под зерновые культуры перед вспашкой или культивацией почвы вносят в количестве 10–15 т/га, а под кормовые культуры – 15–25 т/га. Под чувствительные к хлору растения (например, табак) норму внесения фекальных удобрений уменьшают на 25–30 %, т. к. содержание хлора в фекальных массах достигает 0,55 %. Применять фекалии в чистом виде, особенно под овощные и ягодные культуры, плоды которых используются сырыми, не следует.

Вносить фекалии удобно автоцистернами или бочками с распределителем или машинами типа АНЖ-2.

В городах удаление фекальной массы производится канализационной системой. Канализационные воды отводят на поля, которые называются полями орошения или полями фильтрации. На этих полях, как правило, выращиваются злаковые кормовые травы и кормовые корнеплоды.

7.3.4. Озерные отложения

Озерные отложения – осадочные образования на дне озер, как результат биохимических, микробиологических и физико-механических процессов из остатков животных и растительных организмов, населяющих их, а также приносимых в водоемы водой и ветром органических и минеральных примесей.

В соответствии с характером образования озерные отложения подразделяют на гиттию, представляющую собой субгидрогенизированную гумусную форму в богатых кислородных водах, и сапропель (гниющий органический ил), который возникает при недостатке кислорода. Между обеими формами озерного ила имеются плавные переходы. *Гиттия* представляет собой рыхлый, с переходом в пластичное состояние материал, обогащенный мелкозернистыми частицами почвы, содержит в большинстве случаев известь и имеет около 15–25 % органического вещества в пересчете на сухую массу.

Сапропель внешне имеет вид желеобразной массы с консистенцией, близкой к сметанообразной, с постепенным уплотнением при увеличении глубины отложений. Окраска сапропеля очень разнообразна: коричневая, темно-оливковая, почти черная, серо-желтая, зеленоватая, голубоватая, розовая и даже красноватая. Цвет играет большую роль при оценке сапропеля, т. к. указывает на наличие некоторых органических и неорганических веществ: зеленоватый – хлорофилла, розовый – каротина, голубоватый – вивианита, черный, быстро темнеющий на воздухе, – восстановленного железа, сероватый – извести. Вынутый из залежи сапропель на воздухе быстро окисляется и теряет естественную окраску. Отличительные его признаки – коллоидная структура и высокое влагонасыщение в естественном состоянии.

Естественная влажность основной массы отложений составляет 84–96 %. Нижний предел влажности сапропеля 60 %, верхний – 97 %, средняя статистическая влажность – 88,4 %.

Содержание органического вещества в сапропеле достигает до 80 % от сухого вещества. Состав органической массы сапропеля в зависимости от ме-

сторождений изменяется в широких пределах: гуминовые кислоты – 11,3–43,4 %, фульвокислоты – 2,1–23,5, негидролизуемый остаток – 5,1–22,6, гемицеллюлоза – 9,8–52,5, целлюлоза – 0,4–6, водорастворимые вещества – 2,4–13,5, битумы А – 3,4–10,9, битумы С – 2,1–6,6 %.

Один из основных классификационных показателей сапропеля – зольность, которая в среднем колеблется от 20 до 60 %. Верхний предел зольного остатка 85 %, нижний – 4–7 %. Особенно ценен сапропель, содержащий менее 10 % золы. Величина и характер золообразующих компонентов сапропеля обуславливаются особенностью его формирования и зависят от химического состава питающих водоемов, поступления минеральных веществ с речными наносами в результате эрозийных и биохимических процессов, а также антропогенного влияния.

По зольности или содержанию органического вещества А.Я. Рубинштейн (1964) делит сапропели на малозольные – до 30 % золы, средnezольные – 30–50, повышеннозольные – 50–70 и высокозольные – 70–85 % золы. При содержании ее более 85 % отложения называют илом.

Химический состав сапропелей различных месторождений и даже одного и того же месторождения неодинаков. Сапропелевые удобрения очень разнообразны, содержат 1,3–2,9 % азота (N), 0,18–0,43 – фосфора (P₂O₅), 2,1–36,6 % кальция (CaO) на сухое вещество, рН 2,4–8,5. Содержание в них макроэлементов варьирует в широких пределах (табл. 116; Васильев В.А., 1984).

Таблица 116 – Средний химический состав озерного ила, % сухого вещества

Группа сапропелевых отложений	Органическое вещество	Зола	N	P ₂ O ₅	CaO	MgO
Малозольные	80	19	3,4	0,14	2,5	0,50
Средnezольные	63	38	2,6	0,18	2,3	0,70
Повышеннозольные:						
глинистые, песчаные	37	63	1,9	0,19	2,7	1,50
известковые	40	60	1,6	0,14	16,0	1,20
Ил: известковый	13	87	0,6	0,15	15,0	2,30
глинистый, песчаный	12	88	0,6	0,17	4,5	1,30

По составу и свойствам сапропели подразделяются на кремнеземистые, содержащие более 50 % кремнезема, карбонатные, содержащие более 30 % оксида кальция, и органические с зольностью менее 30 %. Карбонатные сапропели по эффективности не уступают мелу и доломитовой муке, особенно на песчаных и супесчаных почвах.

Применение сапропеля в земледелии известно с глубокой древности. В России уже в XVIII в. озерный ил использовали в сельском хозяйстве. Широкое развитие огородничества на землях вокруг таких крупных озер, как Неро в Ярославской области и Галичское в Костромской области связано с использованием сапропеля этих водоемов. Лучшие огородные приозерные земли были созданы на бедных супесчаных подзолистых почвах путем многовековой культуры и систематического вывоза на них озерного ила.

Первая исследовательская работа об использовании сапропеля на удобрение в России относится к 1912 г. Начиная с 30-х гг., они получают более широкое развитие. Экспериментальными данными была доказана удобрительная ценность сапропеля при выращивании ячменя, озимой ржи, картофеля, лука и капусты.

Эффективность сапропелей как удобрения зависит чаще всего от содержания в них азота, фосфора и калия. Их азотистые вещества представлены в основном труднодоступными для питания растений высокомолекулярными соединениями, прочно связанными с гуминовыми веществами. Содержание доступного фосфора очень низкое, а калия ничтожное. Доступного азота и фосфора в свежедобытом сапропеле обычно в 2–3 раза меньше, чем в навозе.

Сапропель широко распространен на земном шаре и встречается преимущественно в областях бывшего оледенения. Мощность отложений различна. Обычно для озер лесной полосы она равна 3–10 м. Однако встречаются отложения мощностью и 20–40 м.

Общие запасы сапропеля в нашей стране оценены в 92 млрд. т в пересчете на 60 %-ную влажность. Много сапропелевых озер в Ленинградской, Архангельской, Псковской, Свердловской областях и в Карелии.

Запасы сапропеля по народнохозяйственному значению подразделяют на 2 группы, подлежащие раздельному подсчету и учету:

1) балансовые запасы, применение которых согласно утвержденным условиям экономически целесообразно при существующей или осваиваемой промышленностью технике и технологии добычи и переработки сырья с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды;

2) забалансовые запасы, разработка которых согласно утвержденным условиям в настоящее время экономически нецелесообразна или технически невозможна, но которые в дальнейшем могут быть переведены в балансовые.

Сапропель обладает рядом ценных специфических свойств. Он медленно сохнет, с трудом отдавая влагу, но высохнув, делается очень твердым и даже размолотый в порошок совершенно не намокает. Только отдельные виды известкового сапропеля в сухом виде становятся рыхлыми. Промороженный сапропель легче отдает воду и довольно быстро высыхает до 18–20 %-ной влажности. После промораживания сапропель приобретает рыхлость. После оттаивания утраченные свойства сапропеля не восстанавливаются.

Высокая водоудерживающая и низкая фильтрационная способности сапропеля способствуют улучшению водно-физических свойств легких почв. Обладая клеящей способностью, сапропель при взаимодействии с почвой улучшает ее структуру, придает ей комковатость, рыхлость, увеличивается воздухопроницаемость.

Сапропель используют в качестве органического удобрения как в чистом виде, так и в виде компостов с навозом, навозной жижей, фекалиями.

Добыча сапропеля осуществляется экскаваторами и с помощью средств гидромеханизации. При этом могут быть использованы следующие способы добычи:

- непосредственная подача сапропеля на удобряемые поля;
- его поверхностное внесение на прибрежные пойменные луга;
- добыча сапропеля с транспортировкой в специальные отстойники или на поля разлива;
- кольматация заболоченных прибрежных пойменных болот, не подлежащих осушению.

Выбор наиболее эффективного способа добычи сапропеля определяется физическим состоянием илистых отложений (вязкость, консистенция грунта), мощностью отложений, степенью их минерализации, требованиями к качеству сырья, особенностями работы оборудования в конкретных условиях акватории озера.

Наиболее перспективный способ разработки сапропеля – гидромеханизированный с применением землесосных снарядов. Технологическая схема добычи сапропеля этим способом складывается из следующих операций:

- экскавация сапропеля средствами гидромеханизации;
- гидротранспорт пульпы по трубам на стационарные поля сгущения и сушки;
- сгущение, промораживание, рыхление (фрезерование) верхнего слоя;
- сушка в полевых условиях до влажности 50 %;
- уборка в места складирования.

Схема рассчитана на получение товарной продукции в виде мелкой крошки с преобладающим размером частиц 1–3 мм, что отвечает технологиям, принятым для этого вида сапропелевых удобрений.

Добычу сапропеля с глубины менее 3 м ведут с помощью земснарядов типа ЗРС-2, с глубины более 3 м – земснарядом 250-50Р. Сапропель, извлеченный из воды, по напорным пульпопроводам поступает в отстойники (поля сгущения и сушки). Намыв сапропелей в отстойники осуществляется слоями по 20 см. За 4–5 дней влажность намывтого слоя пульпы снижается до 82 %, после этого намывается следующий слой и т. д. При отстаивании высота слоя снижается до 4,5 см, и, следовательно, чтобы намывать слой сапропеля в 1 м, необходимо повторить операцию до 22 раз. Сброс воды в период намыва не допускается, и воду с полей сгущения спускают только к концу сезона, перед зимним промораживанием. При подсушивании влажность сапропеля снижается с 82 до 75 %, и высота метрового слоя уменьшается до 0,75 м.

Послойный намыв сапропелевой массы в отстойники и последующие операции фрезерования и ворошения позволяют достичь хорошей аэрации материала. Благодаря этому закисные соединения железа, марганца и других элементов полностью окисляются. Вследствие активизации микробиологических процессов повышается содержание гидролизуемых форм азота и других элементов питания. В результате фрезерования и последующей сушки материал имеет крошкообразную структуру и оптимальную влажность. Готовую продукцию получают в виде мелкой крошки с преобладанием частиц размером 3 мм, влажностью 50–60 %. Она обладает хорошей сыпучестью, равномерно распределяется по удобряемому полю, быстро взаимодействует с почвой.

Сапропелевые удобрения, приготовленные в отстойниках, характеризуются хорошими физико-механическими и агрохимическими показателями, незасоренностью семенами сорных растений. Недостатком этой технологии является большая трудоемкость строительства отстойников, двухлетний цикл получения удобрений, значительные затраты на погрузочно-разгрузочные работы и транспортировку готовых удобрений.

Весь комплекс технологических операций, связанных с внесением сапропелевых удобрений (погрузка, транспортировка, распределение по поверхности почвы), осуществляется серийными машинами, предназначенными для работы с органическими удобрениями.

Сроки внесения и способы заделки сапропеля под все культуры принципиально не отличаются от таковых для других органических удобрений. Вместе с тем, сапропелевые удобрения не обязательно заделывать в почву сразу же после распределения по полю, это можно сделать спустя 3–7 дней. Целесообразнее использовать сапропель на песчаных и супесчаных почвах, т. к. эффективность его здесь значительно выше, чем на почвах более тяжелого гранулометрического состава.

Сапропель вносят под удобряемые культуры в нормах, которые определяются для каждого поля, исходя из конкретных условий, биологических особенностей выращиваемой культуры, агрохимической характеристики удобрения. Целесообразно определять нормы сапропеля по эквиваленту находя-

щихся в нем элементов питания растений и прежде всего азота. Ориентировочная норма внесения сапропеля на поля – от 210 до 150 т/га.

Намыв непосредственно из водоема на поля позволяет внести в почву сапропеля от 200 до 1000 т/га в пересчете на 60 %-ную влажность. В таких количествах сапропель – не только удобрение, но и мелиорант слабоокультуренных почв. Оптимальная норма колеблется в пределах 600–1000 т/га. Такое количество очень эффективно, и затраты на внесение окупаются в течение 2–4 лет. Сапропель, намытый в больших количествах, постепенно минерализуясь, на длительный срок создает высокий агрофон на улучшаемых почвах.

7.3.5. Торф и торфяные компосты

Торф – органогенная порода из группы горючих полезных ископаемых, образующаяся в результате отмирания и неполного распада растений в условиях избыточного увлажнения и недостатка кислорода. Сложное природное образование – многокомпонентная, полифракционная, полукolloидно-высокомолекулярная система, имеющая в своем составе различные классы органических и минеральных соединений.

Элементный состав торфа: углерод 50–60 %, водород 5,0–6,6, кислород 30–40, азот 1–3, фосфор 0,1–0,25, калий 0,01–0,1, сера 0,1–2,5 % на горючую массу. В компонентном составе органической массы содержание водорастворимых веществ 1–5 %, битумов 2–10, легкогидролизруемых соединений 20–40, целлюлозы 4–10, гуминовых кислот 15–50, лигнина 5–20 %. В естественном состоянии торф имеет влажность 86–95 %. Для него характерны пористость до 96–97 % и высокий коэффициент сжимаемости при компрессионных испытаниях. Текстура торфа – однородная, иногда слоистая; структура обычно волокнистая или пластичная. Цвет желтый или бурый до черного.

Первые сведения о торфе как "горючей земле" для нагревания пищи восходят к 46 г. н.э. и встречаются у Плиния Старшего. В XII–XIII вв. торф как топливный материал был известен в Голландии и Шотландии. В 1658 г. в г. Гронингене вышла первая в мире книга о торфе на латинском языке Мартина Шока "Трактат о торфе". Многочисленные неправильные представления о происхождении торфа были опровергнуты в 1729 г. И. Дегнером. Используя микроскоп для его изучения, он доказал растительное происхождение торфа. В России впервые сведения о торфе и его использовании появились в XVIII в. в трудах М.В. Ломоносова, И.Г. Лемана, Ф.Ф. Зуева и В.М. Севергина. В XIX в. торфу посвящены работы В.В. Докучаева, Г.И. Танфильева и С.Г. Навашина. В России исследования природы торфа носили ботанический характер. Позже работами В.Н. Сукачева, С.Н. Тюремнова, Е.А. Галкиной, Д.А. Герасимова, В.Е. Раковской, Е.К. Иванова и других советских ученых выявлены географические закономерности распространения торфяных залежей, создана классификация видов торфа и торфяных залежей, составлены кадастры и карты торфяных месторождений, изучены химический состав и физические свойства.

В более ранние периоды истории Земли торф, образовавшийся в болотах, представлял первую стадию углефикации. Без доступа кислорода и при низком значении рН бактериальное разложение отмерших частей растений затруднено и начинается процесс углефикации, ведущий к образованию торфа. В наше время торф встречается в болотистых местностях в виде пластов мощностью до нескольких метров, которые прирастают примерно на 1 мм в год.

Мировые запасы торфа оцениваются в 285,4 млрд.т. По запасам торфа Российская Федерация занимает первое место в мире. По данным геологиче-

ского учета, предполагаемые запасы торфа в нашей стране составляют около 200 млрд. т, из которых выявлено и разведано 155 млрд.т. Основная часть запасов торфа находится в Сибири и на Дальнем Востоке и только одна четверть – в Европейской части России (табл. 117; Хохлов В.И., 1988).

Таблица 117 – Обеспеченность пашни запасами торфа в Российской Федерации

Экономический район	Распределение по основным районам, %		Запасы торфа на 1 га пашни, тыс. т
	запасы торфа	пашня	
Северо-Западный	13,1	2,7	6,28
Центральный	3,4	12,7	0,35
Волго-Вятский	1,3	6,6	0,25
Центрально-Черноземный	0,1	9,4	0,01
Поволжский	0,2	25,7	0,01
Уральский	6,2	15,3	0,52
Западно-Сибирский	68,7	16,9	5,26
Восточно-Сибирский	3,2	7,9	0,52
Дальневосточный	3,6	2,5	1,86
Калининградская область	0,2	0,3	0,86

В основу классификации торфа положен генетический принцип, заключающийся в том, что фитоценоз образует соответствующий вид торфа. В зависимости от состава растений-торфообразователей и условий торфообразования, торфяники, а вместе с ними и торф делят на три типа: низинные (эвтрофные), верховые (олиготрофные) и переходные (мезотрофные).

Вследствие разнообразия географических условий торфонакопления в качественных и количественных характеристиках торфяных месторождений имеются большие различия (табл. 118; Хохлов В.И., 1988).

Таблица 118 – Запасы торфа по типам залежи, млрд. т

Экономический район	Торф				
	верховой	переходный	низинный	смешанный	всего
Российская Федерация	81731,9	23415,8	44697,8	4738,1	154583,6
Нечерноземная зона	15951,6	5409,1	13179,2	1474,3	36014,2
Северо-Западный	10943,2	3105,3	5091,9	832,4	19972,8
Центральный	1884,4	334,5	2505,5	239,1	4963,5
Волго-Вятский	417,4	147,5	1183,8	109,3	1858,0
Центрально-Черноземный	0,4	3,2	131,6	<0,1	135,2
Поволжский	9,6	3,5	319,2	0,6	332,9
Уральский	2634,9	1826,4	4422,2	275,4	9158,9
Западно-Сибирский	63034,4	15224,0	26530,4	2985,3	107774,1
Восточно-Сибирский	2225,1	714,0	779,4	254,4	3972,9
Дальневосточный	488,3	2047,7	3544,7	23,0	6103,7
Калининградская область	94,2	9,7	189,1	18,6	311,6

Верховые торфоместорождения расположены на повышенных местах водоразделов и ручьев. Растения здесь снабжаются атмосферной влагой с очень малым содержанием растворенных солей. Верховые месторождения покрыты сфагновым мхом, на котором развиваются нетребовательные к элементам

минерального питания растения: пушица, клюква, шейцерия, багульник, под-бел, низкорослая сосна и по окраинам – береза. Зольность верхового торфа очень низкая, а кислотность высокая (табл. 119; Городний Н.М., 1990).

Таблица 119 – Среднее содержание зольных элементов и азота в различных типах торфа, % абсолютного сухого вещества

Тип торфа	Зола	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	pH
Верховой	2,0	0,30	0,12	0,06	0,08	0,8-1,2	0,30	0,15	2,8-3,5
Переходный	4,0	0,80	0,20	0,09	0,10	1,0-2,3	0,70	0,70	3,5-4,7
Низинный	6,5	2,50	0,30	0,10	0,12	2,3-3,3	0,70	1,30	4,7-5,5

Верховой торф характеризуется высоким содержанием органического вещества, но малой степенью его минерализации, обладает высокой поглощательной способностью – 1 кг сухого торфа может поглотить 8-15 л воды. Верховой слаборазложившийся торф целесообразно использовать в качестве подстилочного материала и для приготовления торфожижевых компостов.

Низинные торфоместорождения образуются в пониженных местах рельефа: в поймах рек, притеррасных частях или водораздельных котловинах в условиях увлажнения атмосферными осадками и богатыми минеральными солями поверхностными и грунтовыми водами. Низинный торф образуется из гипновых мхов, травянистых (осока, камыш, тростник, хвощ) и древесных (ольха, береза, ель, сосна, ива) растений. Так как влаголюбивые растения, принимающие участие в формировании этого типа торфа, требовательны к элементам минерального питания, то низинный торф содержит много зольных элементов. В нем меньше органического вещества, но он имеет большую степень разложения. Поглощательная способность низинного торфа меньше, чем верхового. Низинный торф используют главным образом для компостирования.

Переходные торфоместорождения – промежуточные; в зависимости от условий питания они приближаются к верховым или низинным. В них глубже залегают пласты низинного торфа, а выше – верхового. Верховой торф используют для приготовления компостов и для подстилок животным.

В типах торфа выделяют подтипы: 1) лесной; 2) лесотопяной; 3) топяной. Торф разных подтипов отличается по степени разложения.

Степень разложения органического вещества торфа колеблется от 1–5 до 50–60%. При этом степень разложения до 20% принято считать низкой, от 20 до 40% – средней и свыше 40% – высокой. Степень разложения может быть определена чисто морфологически либо количественно на основании соотношения между разложившимся материалом и сохранившимися строение растительными остатками. В полевых условиях ее можно определить на глаз, пользуясь данными таблицы 120 (Васильев В.А., Филиппова Н.В., 1988).

От степени разложения торфа зависят его физические и агрохимические свойства. Чем она ниже, тем выше воздухопроницаемость, влагоемкость, буферность, влаго- и газопоглощательная способность торфа. Степень разложения торфа можно определить и по показателю его гумификации (ПГТ), который вычисляется путем умножения содержания гуминовых кислот в торфе (С_{ГК}, %) на показатель их оптической плотности $E_{4,65}^{0,001\%}$:

$$\text{ПГТ} = C_{\text{ГК}} \cdot E_{4,65}^{0,001\%}$$

Таблица 120– Органолептические признаки степени разложения торфа

Степень разложения, %	Основные признаки состояния торфа
Менее 15 (неразложившийся)	Торфяная масса не продавливается между пальцами. Поверхность сжатого торфа шероховатая от остатков растений, которые хорошо различимы. Вода выжимается струей, как из губки, прозрачная, светлая
15–20 (очень слаборазложившийся)	Вода выжимается частыми каплями, почти образуя струю, слабо-желтоватая
20–25 (слаборазложившийся)	Вода отжимается в большом количестве, желтого цвета, растительные остатки заметны хуже
25–35 (среднеразложившийся)	Масса торфа почти не продавливается в руке, остатки растительности заметны; вода отжимается частыми каплями светло-коричневого цвета, торф слабо пачкает руки
35–45 (хорошо разложившийся)	Масса торфа продавливается слабо. Вода выделяется редкими каплями коричневого цвета
45–55 (сильноразложившийся)	Масса торфа продавливается между пальцами, пачкая руку. В торфе заметны лишь некоторые растительные остатки. Вода отжимается в малом количестве, темно-коричневого цвета
Более 55 (очень сильноразложившийся)	Торф продавливается между пальцами в виде грязеподобной черной массы. Вода не отжимается. Растительные остатки совершенно неразличимы.

Соответственно этому показателю степень гумификации торфа может быть выражена как: 1) очень низкая <0,5; 2) низкая 0,5–1,5; 3) средняя 1,6–2,5; 4) высокая 2,6–3,5; 5) очень высокая >3,5.

Торф лесного подтипа имеет высокую степень разложения, у топяного торфа – минимальная степень разложения; лесотопяной торф занимает промежуточное положение. Подтипы торфа делятся на 4–8 видов (табл. 121; Копенкина Н.А., Нейштадт М.И., Чистяков В.И., 1977).

Вид – первичная таксономическая единица классификации торфа. Он отражает исходную растительную группировку и первичные условия образования торфа, характеризуется определенным сочетанием доминирующих остатков отдельных видов растений.

Ботанический состав – один из основных признаков, определяющих качество торфа для сельскохозяйственного использования. По растениям-торфообразователям можно определить, в каких условиях водного и зольного питания формировался торфяник. Ботанический состав торфа определяют с помощью микроскопа при 80–100-кратном увеличении. По характеру клеточного состава растительных остатков и некоторым другим признакам выявляют растения, участвовавшие в образовании торфа, и устанавливают процентное соотношение различных остатков.

По ботаническому составу на территории Российской Федерации различают около 40 видов торфа. Однако не все виды резко отличаются друг от друга по основным свойствам, и поэтому для практических целей в большинстве случаев достаточно различать три группы торфа: моховую, травяную и древесную. Некоторые виды торфа можно определить по внешним признакам, описание которых приведено в таблице 122 (Васильев В.А., Филиппова Н.В., 1988).

Таблица 121 – Классификация видов торфа

Тип торфа	Лесной подтип	Лесотопяной подтип		Топяной подтип		
	древесная группа	древесно-травяная группа	древесно-моховая группа	травяная группа	травяно-моховая группа	моховая группа
Низинный	ольховый, березовый, еловый, сосновый, низинный ивовый	древесно-тростниковый, древесно-осоковый низинный	древесно-гипновый, древесно-сфагновый низинный	хвощевый тростниковый, осоковый вахтовый шейхцериевый низинный	осоково-гипновый, осоково-сфагновый низинный	гипновый низинный, сфагновый низинный
Переходный	древесный переходный	древесно-осоковый переходный	древесно-сфагновый переходный	осоковый переходный, шейхцериевый переходный	осоково-сфагновый переходный	гипновый переходный, сфагновый переходный
Верховой	сосновый верховой	сосново-пушицевый	сосново-сфагновый	пушицевый шейхцериевый верховой	пушицево-сфагновый шейхцериево-сфагновый	медиумторф, фискумторф, комплексный верховой, сфагново-мочажинный

Таблица 122 – Характеристика внешних признаков торфа

Вид торфа	Характерные признаки видимых глазом растительных остатков	Сложение торфа, цвет и изменения его на воздухе
Верховой		
Сфагновый	Остатки сфагновых мхов в виде тончайших листочков яйцевидной или удлинённой формы, длиной не более 4 мм и толщиной не более 2 мм; стебельки шнуровидные, бурого или палевого цвета.	Рыхлое, губчатое или соломистое; от соломенно-желтого до красновато-бурого; темнеет медленно, оттенок остается.
Пушицевый	На изломе хорошо заметны остатки пушицы, залегающие густыми прядями.	Волокнистое; темно-коричневый; темнеет.
Низинный		
Гипновый	Остатки гипновых мхов в виде темных тонких (до 1-1,5 мм шириной) облиственных стебельков. Листья различной формы, часто с отогнутой верхушкой.	Рыхло-губчатое; свежего торфа – золотисто-бронзовый, очень быстро переходит на воздухе в серый.
Тростниковый	Зеленоватые мелкие волосовидные корешки тростника и грубые жесткие зеленоватые лентообразные пластинки корневища шириной 10-15 мм с ясно заметными узлами.	Волокнистое; цвет зеленоватый, темнеет, но оттенок остается.
Древесный	В плотной массе торфа заметны на глаз и чувствуются на ощупь различной величины грубожесткие или мягкие кусочки древесины с примесью белесых или бурых кусочков коры.	Комковато-зернистое; от темно серого, почти черного, до коричневого, темнеет.

Качество торфа характеризуется влажностью, степенью разложения, влагоемкостью, емкостью обменного поглощения, кислотностью, зольностью и химическим составом.

Влажность торфа выражается в процентах к общей его сырой массе. Верховой торф в природной залежи содержит 92–96 % воды, а в осушенной – 80–86 %; низинный, соответственно, 87–90 % и 80–86 %. Для использования на удобрение и подстилку влажность торфа доводят до 50–60 %. Сильно разложившийся торф высушивать до влажности более 40 % нельзя, т. к. при этом он теряет способность смачиваться и набухать, при внесении в почву долго не разлагается и не проявляет удобрительных свойств, а в сухие годы может оказать и отрицательное действие на растения. Слаборазложившийся торф можно доводить до влажности 40 % и ниже, т. к. он после высушивания хорошо поглощает влагу.

Степень разложения – универсальный показатель для оценки свойств торфа. Его используют для расчета различных параметров технологического процесса добычи и переработки торфа. Косвенно он входит в важнейшие формулы определения выхода сухого торфа из единицы объема залежи и сбора с единицы разрабатываемой площади торфяного месторождения. От степени разложения торфа зависят его физические и агрохимические свойства. Чем она ниже, тем выше воздухопроницаемость, влагоемкость, буферность, влаго- и газопоглощительная способность.

Емкость обменного поглощения, характеризующая адсорбционные свойства торфа, служит важным показателем его пригодности к использованию в качестве удобрения. Емкость поглощения торфа очень велика, она колеблется в пределах 120–230 мг-экв. на 100 г сухого торфа.

Емкость поглощения верхового торфа изменяется в небольших пределах (125–152 мг-экв. на 100 г сухого торфа) и не обнаруживает четкой зависимости от степени разложения. У низинного торфа она больше, чем у верхового (147–230 мг-экв. на 100 г сухого торфа) и ее изменения связаны со степенью разложения, с увеличением которой возрастает и емкость поглощения. Переходный торф по емкости поглощения близок к верховому.

Полная влагоемкость торфа – способность поглощать и удерживать воду под влиянием молекулярных и капиллярных сил. Этот показатель относится к торфу в залежи и торфу-сырцу при максимальном его насыщении водой в условиях свободной фильтрации. Полная влагоемкость определяется отношением массы воды к массе сухого вещества, выраженным в процентах.

В естественных условиях влагоемкость торфяной залежи колеблется от 500 до 3000 % и зависит от вида торфа и степени его разложения. Влагоемкость верхового слаборазложившегося торфа достигает 3000 %. С увеличением степени разложения она уменьшается в связи с разрушением структуры растительных остатков, способных поглощать и удерживать воду.

Влагоемкость имеет большое значение для использования торфа в качестве подстилочного материала, а также для приготовления торфожижевых, торфофекальных компостов и торфо-минерально-аммиачных удобрений. 1 кг абсолютно сухого торфа способен поглотить и удержать от 5 до 30 л воды. Наибольшей влагоемкостью обладает неразложившееся растительное волокно торфа. Верховой слаборазложившийся сфагновый торф отличается особенно высокой влагоемкостью и почти не имеет аналогов в переходном и низинном торфе. Такой торф наиболее пригоден для использования в качестве подстилки, и его часто называют подстилочным.

Зольность. Агрохимическая эффективность торфа зависит также от его зольности, которая определяется по процентному соотношению остатка, образующегося при прокаливании, к общей массе образца. Зольность низинного торфа колеблется от 6 до 18 %, переходного – от 4 до 6 %, верхового – от 2 до 4 %. Сильно минерализованный торф формируется обычно в результате вторичного засоления. Известны высокозольные залежи всех трех типов торфа, однако в основном они представлены низинным торфом и обусловлены обильным поступлением на торфяное месторождение минеральных веществ с окружающих суходолов или с подземными водами. Известны случаи образования песчаных, глинистых, известковистых, охристых, вивианитовых и даже сернистых торфяных отложений. Зольность в размере 50 % сухого вещества условно принято считать границей между понятиями торф и органо-минеральные отложения.

Кислотность. Торф по своей химической природе имеет кислую реакцию, обусловленную содержанием органических кислот и подвижного алюминия. Кислотность низинного торфа понижена, частично нейтрализованная присутствием кальция. Верховой торф не содержит или содержит мало кальция, его кислотность наиболее высокая. Тип торфа с большой точностью определяется по показателям кислотности: верховой – рН = 2,6–3,2; переходный – рН = 3,4–4,2; низинный – рН = 4,8–5,6. Кальция, связанного с водно-минеральным питанием, торф в пересчете на сухое вещество содержит: верховой до 0,25–0,35 %; переходный до 1, низинный – до 4 %.

Для нейтрализации кислотности торфа применяют известь, фосфоритную муку и органические удобрения – навоз, навозную жижу, фекалии. При проветривании торфа устраняется вредное действие закисных соединений железа и алюминия, которые соединяясь с кислородом воздуха, они окисляются и теряют токсические свойства.

Содержание общего азота – важная характеристика торфа. Количество и формы азота в нем отражены в таблице 123 (Хохлов В.И., 1988). Содержание общего азота в органической массе в верховом торфе в среднем составляет 1,5 % (диапазон от 0,6 до 2,5 %), в низинном – 2,6 (диапазон от 1,3 до 3,8 %). Переходный торф занимает промежуточное положение.

Таблица 123 – Формы азота торфа, % от валового содержания

Тип торфа	Легкоусвояемые формы					Белковый и гуминовый
	аммонийный	амидный	нитратный	аминный	итого	
Низинный	1,7	4,0	2,3	0,1	8,1	91,9
Переходный	4,5	1,7	1,6	0,3	8,1	91,9
Верховой	14,1	5,3	5,8	1,1	26,3	73,7

Азот торфа – источник питания растений, но основное количество его находится в составе сложных органических соединениях гуминовых веществ и белков, недоступных растениям, небольшая часть – в лигнине, битуме и других соединениях. Азот торфа может быть использован растениями после его минерализации при внесении в почву. Процесс минерализации протекает длительное время (при компостировании, после применения на подстилку в животноводческих фермах).

Микроорганизмы. Торф содержит почти все физиологические группы микроорганизмов, способных участвовать в разложении органического вещества. Исключение составляют нитрифицирующие бактерии и азотобактер, не живущий в торфе при обычных условиях. Наиболее богат микроорганизмами низинный торф; верховой – беден микроорганизмами, что связано с его высокой кислотностью; переходный торф в этом отношении стоит ближе к торфу низинному. Проветривание торфа приводит к увеличению количества почти всех видов микроорганизмов, за исключением целлюлозоразрушающих, денитрификаторов и грибов. Торф не содержит болезнетворных для растений микроорганизмов.

По сравнению с органическим веществом отмерших растений торф отличается гораздо большей биохимической устойчивостью. Это связано с присутствием в нем таких веществ, как гуминовые кислоты, которые, будучи продуктами микробиологической деятельности, трудно усваиваются микроорганизмами и поэтому медленно разлагаются.

В торфе приобретают большую биохимическую устойчивость даже углеводы, которые в обычных условиях являются наиболее доступными соединениями для микроорганизмов. Объясняется это тем, что в торфогенном слое протекает интенсивная микробиологическая деятельность, благодаря которой торф аккумулирует продукты жизнедеятельности микроорганизмов, обладающие антибиотическими свойствами.

Разработке торфа предшествуют осушение месторождения и удаление древесной растительности с его поверхности. Торф добывают послойно-поверхностным способом – фрезерным и скреперно-бульдозерным. Технологический процесс добычи торфа на удобрение состоит из следующих операций: 1) фрезерования верхнего слоя залежи фрезерными барабанами; 2) ворошения (сушки) сфрезерованного слоя; 3) валкования подсушенного слоя; 4) уборки торфа из валков; 5) штабелевания.

Благодаря своим полезным физическим, физико-химическим и агрохимическим свойствам, торф широко применяют на удобрение и подстилку. В полеводстве его используют для приготовления высокоэффективных органических удобрений – компостов (торфонавозных, торфожижевых, торфофекальных, торфорастительных), смесей с минеральными удобрениями (торфоаммонийные, торфоминеральноаммонийные). Сильноразложившийся, высокозольный низинный торф с нейтральной реакцией применяют в качестве удобрения в чистом виде. В овощеводстве торф используют для производства грунтов и субстратов, мульчирования почвы, приготовления торфоперегнойных кубиков и биотоплива; в животноводстве – для подстилки животным.

Использование в чистом виде в качестве удобрения. Органическое вещество торфа очень устойчиво к микробиологическому разложению; минерализация органических соединений азота происходит очень медленно. Многие виды торфа имеют кислую реакцию, что также затрудняет разложение их в почве. Микроорганизмов в торфе из-за кислой реакции, недостатка растворимых форм азота и легкодоступных органических веществ очень мало. Поэтому использование торфа на удобрение в чистом виде малоэффективно и экономически не оправдано. Это допустимо только по отношению к сильноразложившемуся высокозольному низинному торфу с нейтральной реакцией вблизи мест его заготовки и торфу, богатому известью (торфотуф) или фосфором (вивианитовый торф).

Торф, содержащий в своем составе не менее 2 % фосфора в форме вивианита (фосфорнокислой закиси железа), можно применять как фосфорное удобрение.

Включения вивианита в виде бело-серых прожилок находятся в низинном торфе на глубине 0,3–0,5 м. Соприкасаясь на поверхности с воздухом, вивианит приобретает ярко-синюю окраску. В чистом виде он содержит около 28 % фосфора.

Торф, содержащий более 8 % извести в виде бело-желтых или сероватых комочков и хлопьев, применяют на кислых почвах как кальциевое удобрение. Большую удобрительную ценность имеет торфотуф – торф, содержащий свыше 10 % СаО. Благодаря наличию органического вещества, он эффективнее обычной извести. Органические вещества торфотуфа не только обогащают почву питательными веществами, но и повышают ее буферные свойства. Перед внесением в почву чистого торфа в качестве удобрения его хорошо измельчают и не менее 2–3 месяцев "выветривают" в кучах для обезвреживания разных соединений, которые отрицательно влияют на сельскохозяйственные культуры.

Использование торфа в качестве мелиоранта. Торф применяют для окультуривания кислых подзолистых почв. Для этого торф с влажностью не выше 60 %, в основном низинный, вносят в почву в норме 500 т/га. Применение таких больших норм торфа влияет на их физические и физико-химические свойства: повышается буферность, уменьшается объемная масса. Окультуривание почвы при помощи торфа создает лучший фон для эффективного действия минеральных удобрений.

Использование торфа на подстилку. Наилучшее торфяное сырье для получения подстилочных материалов высокого качества по влагоемкости, малой теплопроводности, созданию хороших зоогигиенических условий на фермах – верховой торф со степенью разложения до 15 %. Подстилка, полученная из торфа, должна содержать минимум некондиционных фракций укрупненных размеров, а также мелких и пылевидных частиц, загрязняющих дыхательные пути и кожу животных и снижающих качество товарной продукции ферм.

Торфяные подстилки обеспечивают хорошие условия содержания животных и способствуют увеличению накопления высококачественного навоза. Установлены две категории торфяного сырья, пригодного для заготовки торфяной подстилки. К I категории относят торф верхового типа моховой группы со степенью разложения не более 15 %, зольностью не выше 5 %, содержанием остатков пушицы не более 5 %; ко II категории – торф любого типа моховой, травяно-моховой и травяной группы со степенью разложения для верхового и переходного типов 16–25 %, для низинного типа до 15 %, зольностью верховых и переходных торфов до 8 %, низинного – до 10 %. При этом содержание древесных остатков в сырье не должно превышать 10 %, а остатков пушицы – 15 %. Влажность подстилочного торфа 40–50 %. Суточная норма подстилки определяется видом и возрастом животных, качеством подстилочного материала (табл. 124; Хохлов В.И., 1988).

Таблица 124 – Норма расхода торфяной подстилки, кг/сут.

Вид животных	Категория подстилки	
	I	II
Крупный рогатый скот	4–7	8–12
Лошади	3–5	6–10
Свиньи	1,5–3,0	3,0–4,5
Овцы	1,0–1,5	–
Кролики	0,08–0,10	–
Куры	0,01–0,015	0,015–0,025
Водоплавающая птица	0,02–0,025	0,025–0,035

Лучшим сырьем для подстилки является сфагновый торф верховых болот, который замедляет процессы развития болезнетворных микробов в навозе. Навоз, полученный при использовании торфяной подстилки вместо соломенной, богаче общим и подвижным азотом; потери азота и органического вещества из него при хранении меньше.

Торфодерновые ковры предназначены для устройства декоративных газонов и укрепления откосов земляных насыпей, каналов и водоемов в районах с умеренным климатом. Их выращивают на площадях с осушенной торфяной залежью верхового типа со степенью разложения не более 15 %, кислотностью не более 3, зольностью не более 20 и содержанием остатков пушицы не более 15 %.

Использование торфа для мульчирования почвы. Мульчирование (покрытие) почвы – агротехнический прием, применяемый для увеличения поглощения поверхностных вод, предупреждения выдувания почвы, регулирования ее температуры, предохранения почвенных агрегатов от разрушения дождевыми каплями. Применение торфа в виде мульчи препятствует образованию почвенной корки, уменьшает испарение влаги с поверхности почвы, предохраняет от вымерзания посеянные осенью растения. Под торфяной мульчей почва медленно отдает тепло из-за плохой его теплопроводности, что выравнивает суточные колебания ее температуры. При разложении торфа выделяется диоксид углерода, который способствует энергичному образованию органического вещества в растениях. Для мульчирования применяют хорошо разложившийся проветренный торф с влажностью не более 50–65 %, который рассеивают поверхностно в междурядья слоем 5–7 см.

После уборки культуры или при междурядной обработке приствольных кругов многолетних насаждений торф заделывают в почву. Для ускорения разложения полезно при его заправке добавлять небольшое количество навоза, навозной жижи или фекалий.

Использование торфа в защищенном грунте. Торф – основной материал при производстве различных грунтов и субстратов для теплиц и парников. С этой целью используют фрезерный торф (табл. 125; Хохлов В.И., 1988).

Торфяные грунты используют в теплицах и парниках. Применяют три типа торфяных грунтов промышленного производства: известкованный, теплично-парниковый и биологически активный с маточной культурой.

Известкованный грунт представляет собой торф, нейтрализованный известковым материалом; теплично-парниковый – торф, нейтрализованный известковым материалом и обогащенный фосфорными и калийными удобрениями; грунт биологически активный с маточной культурой – торф, нейтрализованный известковым материалом, обогащенный фосфорно-калийными удобрениями и аутохтонной микрофлорой Б.

Для нейтрализации кислотности на 1 т торфа 55 %-ной влажности расходуют следующее количество извести: рН 2,5–3,0 – 45–40 кг; рН 3,0–3,5 – 40–35; рН 4,0–4,5 – 30–25; рН 4,5–5,0 – 25–20; рН 5,0–5,5 – 20–15; рН 5,5–6,0 – 15–10 кг. Кроме того, на 1 т торфа добавляют 7 кг суперфосфата и 2 кг сернокислого калия.

Торфяные плиты сухого прессования – сухой спрессованный слабо-разложившийся верховой торф с добавками макро-, мезо- и микроэлементов. Предназначен для выращивания комнатных растений, цветов, рассады и овощных культур в микротеплицах и парниках. Плиты изготавливают в заводских условиях; имеют форму прямого параллелепипеда с закругленными углами размером 290×290×50 мм, массу не менее 2 кг, влажность 17–30 %, рН 5,0–5,8, влагоемкость 5 кг на 1 кг сухого торфа.

Таблица 125 – Характеристика торфа для защищенного грунта

Торфяная продукция	Тип торфа	Характеристика торфа			
		степень разложения, %	зольность, %	влажность, %	кислотность, рН _{KCl}
Грунты	Верховой и переходный	≤ 25	≤ 20	50-60	не нормируется
Торфодерновые ковры	Верховой	≤ 15	≤ 20	65-85	≤ 3,0
Горшочки торфяные полые	Верховой, моховая группа	≤ 15	≤ 8	≤ 55	не нормируется
Торфяные питательные брикеты	Верховой, сфагновый медиум или фускум	≤ 8	≤ 8	≤ 53	2,5-3,5
Торфяной прессованный питательный грунт "Фиалка"	Верховой, моховая группа	≤ 15	≤ 12	≤ 55	не нормируется
Торфоблоки субстратные	Верховой, сфагновых мхов ≥ 70 %	≤ 15	не нормируется	не нормируется	не нормируется
Микропарники	Верховой, сфагновый, моховая группа	≤ 15	≤ 15	≤ 60	не нормируется

Плиты сухого прессования перед посадкой культур укладывают на выровненные гряды, покрытые полиэтиленовой пленкой. Между плитами оставляют промежутки 5 см. После укладки плиты размачивают дождеванием из шлангов через насадку с мелким распылением. Применение плит сухого прессования имеет ряд преимуществ перед рассыпными грунтами: устраняются условия саморазогревания и самовозгорания грунта при хранении, повышается рентабельность перевозок, снижаются затраты на строительство складских помещений. Преимуществом торфяных плит как субстрата является также отсутствие в них патогенной микрофлоры, благодаря чему растения либо вообще не поражаются болезнями, либо поражаются в очень незначительной степени. Кроме того, использование плит сухого прессования позволяет внедрить в теплицах контейнерный метод выращивания культур.

Торфоблоки субстратные – пористые гидрофильные плиты прямоугольной формы толщиной от 4 до 5,5 см. Каждая плита – это блок отдельных ячеек с лунками по центру. Ячейки разделены нарезными или штампованными бороздками. Размеры ячеек стандартные (100×100 мм; 50×50 мм), размеры самих плит различные (500×500 мм; 1000×500 мм; 20×500 мм). Торфоблоки изготавливают из нейтрализованного верхового торфа низкой степени разложения (до 18 %) с рН 2,9–3,0, с содержанием сфагновых мхов – от 70 до 80 %, хлора – не более 0,7 %, окиси железа – не более 1 %.

Блоки используют для выращивания рассады овощных, цветочных, декоративных, плодовых, ягодных и лесных культур в защищенном и открытом грунте, а также для создания переносных декоративных газонов. Торфяные блоки

бывают двух видов: нейтрализованные (известкованные) и комплексные (субстратные), содержащие все необходимые элементы питания растений.

Торфблоки субстратные имеют ряд преимуществ в процессе выращивания рассады любой культуры: исключаются такие трудоемкие операции, как подготовка грунта, составление смесей и их неоднократное перемешивание, набивка и расстановка штучной тары. При работе с торфблоками не нужны специальные поддоны, ящики и другие емкости. Они удобны при хранении, переноске, раскладке и передвижке. Торфблоки сохраняют форму и прочность весь период выращивания рассады. Пористая структура субстрата при увлажнении не нарушается. Торфблоки дают возможность выращивать растения с прикорневым комом, обеспечивающим хорошую приживаемость их при пересадках.

Необходимым условием использования торфблоков является создание ровной горизонтальной поверхности. Нарушение этого требования приводит к неравномерному увлажнению. Для предотвращения прорастания корней в грунт и более равномерного увлажнения рекомендуется использовать упаковку из полиэтиленовой пленки. Это устраняет потери элементов питания и создает фитосанитарную изоляцию между блоком и грунтом. Торфблоки укладывают на гряды или на ровную поверхность, увлажняют до полной влагоемкости и вносят минеральные удобрения, микроэлементы и высевают семена или высаживают черенки. При полном насыщении масса блока увеличивается в 7-8 раз. Удобрения вносят с поливом (табл. 126, 127).

Таблица 126 – Норма внесения минеральных удобрений при выращивании рассады огурцов и томатов в торфблоках, г/м²

Вариант	Удобрения	Огурцы	Томаты
I	Диаммонийфосфат	66	72
	Магний сернокислый	50	50
	Селитра калиевая	65	85
	Калий сернокислый	65	85
II	Карбамид	52	60
	Магний сернокислый	50	50
	Суперфосфат двойной	68	73
	Калиймагнезия	100	130
III	Карбамид	52	60
	Суперфосфат двойной	68	73

Таблица 127 – Норма внесения микроудобрений при выращивании рассады огурцов и томатов на торфблоках, г/м²

Микроудобрения	Огурцы	Томаты
Молибденовокислый аммоний	0,5	0,4
Железо сернокислое	1,2	1,5
Борная кислота	0,5	0,5
Кобальт сернокислый	0,25	0,25
Марганец сернокислый	0,75	0,70
Медь сернокислая	0,25	0,25
Цинк сернокислый	0,10	0,25

Торфяные полые горшочки. Являются емкостями для заполнения их питательным грунтом. Торфяные горшочки формируют из массы, состоящей из торфа – не менее 70 % и картона (бурой древесной массы) – не более 30 %, а также мела, азотных удобрений и поверхностно-активного вещества. Горшочки по форме основания выпускают круглые одиночные, квадратные одиночные и блоками по 12 и 6 шт. в каждом.

Торфяные полые горшочки пригодны для выращивания рассады овощных и цветочных культур, семян декоративных, плодовых и лесных растений. При заполнении легким торфяным субстратом, содержащим элементы питания, в них создаются наиболее благоприятные условия для роста и развития растений, корневая система предохраняется от механических повреждений и деформации, как при выращивании, так и при пересадках. Лучшими наполнителями являются торфяные субстраты и грунты.

Торфяные питательные брикеты – сухой спрессованный субстрат в виде цилиндра, предназначенный для выращивания растений с изолированной корневой системой и изготавливаемый из массы, содержащей верховой сфагновый торф низкой степени разложения; мел, минеральные удобрения и соли, включающие микроэлементы. Брикеты производят в заводских условиях двух типов: А – в оболочке из биостойкой бумаги, Б – без оболочки.

Перед использованием брикеты размещают на подносе или лотке и постепенно подливают воду на дно емкости, смачивая их до полного увлажнения. В размоченный брикет высевают семена или пикируют проростки. Их можно использовать как для заполнения горшочков и других емкостей для выращивания растений, так и в качестве удобрительной добавки для улучшения состава почвы. При смачивании водой объем брикета увеличивается в 5–6 раз. При применении торфяных брикетов необходимо следить за состоянием растений и своевременно их подкармливать.

Торфо-аммиачные удобрения (ТАУ) – удобрения, получаемые при обработке торфа аммиачной водой или жидким аммиаком; относятся к гуминовым удобрениям. При обработке аммиаком активизируется органическое вещество торфа, в 10–15 раз увеличивается содержание водорастворимых гуминовых кислот и подвижных форм азота, устраняется избыточная кислотность торфа. ТАУ производят в полевых условиях.

Торфоминеральные удобрения (ТМУ) – представляют собой смесь торфа с фосфорными, калийными и кальциевыми удобрениями. Нормы внесения минеральных удобрений при производстве ТМУ: на 1 кг торфа 55 %-ной влажности добавляют 1 кг фосфоритной муки или 21 кг простого суперфосфата, 7 кг хлористого калия или 11 кг калийной соли. Известковой муки при кислотности торфа (pH_{KCl}) 2,5–3,0 вносят 50–45 кг/т; при pH 3,0–3,5 – 40–35.

Физико-химический состав ТМУ следующий: содержание влаги – не более 65 %; зольность – не более 30 %; кислотность солевой суспензии – не менее 5; содержание: фосфора 0,6 %; калия 0,6 %; засоренность посторонними примесями – не более 10 %.

Торфоминерально-аммиачные удобрения (ТМАУ) – комплексные биологически активные удобрения, в состав которых входят подвижные формы азота, фосфора и калия, а также органическое вещество торфа, часть которого после обработки аммиаком переходит в водорастворимое состояние. Для приготовления ТМАУ может быть использован торф любого типа с зольностью не более 25 %, степенью разложения – не менее 15 %, с содержанием влаги – 50–60 %, окиси железа – не более 5 %, окиси кальция – не более 5 % и pH 2,5–6,0. В зависимости от

количества добавляемых к торфу минеральных компонентов, различают ТМАУ-1 – низкой, ТМАУ-2 – средней, ТМАУ-4К, ТМАУ-6К – высокой концентрации. Их используют в основном в садоводстве и для выращивания овощных культур. ТМАУ всех марок производят по двум основным технологическим схемам. По первой схеме все компоненты вносят в навалы фрезерного торфа перед штабелеванием. По второй схеме удобрения готовят с применением дозирующе-смесительных станций из торфа, предварительно убранного в штабеля.

Торфокомпосты. Компостирование – биотермический процесс минерализации и гумификации органических веществ, происходящий в аэробных условиях под воздействием термофекальных, т. е. теплолюбивых микроорганизмов. При компостировании органические отходы разогреваются до температуры 60°C, что губительно влияет на личинки и куколки мух, яйца гельминтов и болезнетворные непорообразующие микроорганизмы. Компост состоит из двух главных компонентов, неодинаковых по устойчивости к разложению микроорганизмами. Один из них – навоз, навозная жижа, куриный помет, фекалии – богат питательными веществами, микрофлорой и содержит значительное количество легкоразлагающихся азотсодержащих органических соединений, другой – торф, солома, опилки, кора, лигнин – беден питательными веществами и слабо разлагается без компостирования, однако обладает высокой влагоемкостью.

При компостировании торфа с биологически активными органическими удобрениями – навозом, навозной жижей, птичьим пометом – усиливаются микробиологические процессы, азот торфа за короткий срок становится более доступным для растений. С другой стороны, торф как материал с высокой влагоемкостью и емкостью поглощения хорошо удерживает жижу и аммиачный азот, которые выделяются при разложении навоза, тем самым предотвращая их потери.

В результате биотермических процессов при компостировании погибают патогенные организмы и лишаются жизнеспособности семена сорных растений, которые в большом количестве содержатся в свежем навозе. Правильно приготовленный компост – полноценное органическое удобрение с хорошими физическими свойствами.

Торф богат азотом, но содержится он в нем в виде органических соединений, которые становятся доступными растениям только после их минерализации. Мало в торфе фосфора и еще меньше – калия. В ходе приготовления компостов учитывают эти свойства торфа. Компостирование торфа с навозом и навозной жижей преследует цель повысить доступность азота торфа для растений и обогатить его фосфором и калием.

Чтобы заготовить торф на удобрение, торфяное болото предварительно осушают, очищают от кустарников и кочек, снимают с него верхний слой – очес. Потом вспахивают плугом и рыхлят в несколько следов дисковыми и зубовыми боронами. Когда торф просохнет на глубину взрыхленного слоя, его сгребают в валы высотой 1,5–2 м. После того как торф высохнет в валах до влажности менее 60 %, его используют для приготовления компостов.

Торф, используемый для приготовления компостов, должен характеризоваться следующими свойствами: зольность – не более 25 %; степень разложения – не менее 20; влажность – не более 60; содержание древесных частиц – не более 10 %; размер частиц торфа и древесных остатков – не более 60 мм.

Вид компоста называют по составляющим его компонентам. Чаще всего готовят компосты торфонавозные, торфожижевые, торфопометные и торфофекальные.

Торфонавозные компосты – наиболее распространенный вид компостов. При компостировании с навозом торф обогащается микроорганизмами, сни-

жается его кислотность, в компосте усиливается микробиологическая активность, интенсивнее происходит разложение органического вещества и увеличивается количество доступного растениям азота. Торф благодаря высокой поглотительной способности связывает аммиак, образующийся при разложении органического вещества, что резко снижает потери азота из навоза.

Торфонавозные компосты наиболее эффективны при соотношении навоза и торфа 1:1 и 1:2. При этом достигается мобилизация питательных веществ торфа, и полученная масса имеет лучшие физические свойства, чем исходная. Компост можно равномерно внести на поверхность поля существующими разбрасывателями органических удобрений.

Торфонавозные компосты лучше всего готовить вблизи животноводческих помещений или в навозохранилище. Для компостирования с навозом пригодны все виды торфа, влажность которых не превышает 60 %. Имеется несколько способов приготовления торфонавозных компостов: послойный, очаговый, площадный, траншейный.

Послойный способ пригоден для любого времени года. В навозохранилище или на площадке в поле разгружают торф и бульдозером разравнивают его слоем 50 см. Затем разбрасывают навоз. Торф и навоз послойно укладывают в штабель шириной 3–4 м и высотой 2 м, длина его произвольная. Толщина слоя торфа и навоза зависит от соотношения их в компосте. При соотношении 1:1 она примерно одинакова. Штабель завершают слоем торфа. В зимнее время во избежание промерзания навоза бурт закладывают за один-два дня.

Очаговый способ пригоден для зимнего компостирования при температуре до -20°C . На слой торфа толщиной 30–50 см укладывают навоз кучами по 200–300 кг через 1–1,5 м, затем снова насыпают торф слоем 50 см. Длина бурта произвольная ширина у основания 4–6 м, высота – до 3 м. В оттепель, при стабильных плюсовых температурах массу перемешивают и укладывают снова в бурты бульдозером. Время созревания компоста – 3–4 мес.

Площадочный способ заключается в том, что на площадку определенного размера завозят торф и формируют торфяную подушку слоем 25–30 см, сгружают и разравнивают необходимое количество навоза. Затем двух-, трехкратным дискованием тяжелой дисковой бороной перемешивают навоз с торфом, и смесь сгребают бульдозером в штабеля шириной 4–6 м и высотой 3–4 м для компостирования. Такой способ наиболее приемлем для заготовки компостов в весенне-летний и осенний периоды. Уплотнение компоста в буртах и штабелях не проводят. В зависимости от степени разложения торфа такие компосты созревают за 4–6 мес.

Торф и навоз на площадку компостирования можно подвозить разбрасывателями органических удобрений, тогда операция разравнивания бульдозером отпадает. Размер площадки компостирования рассчитывают предварительно, исходя из объема заготавливаемого компоста по формуле:

$$S_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{т}}}{h \cdot \gamma},$$

где: $S_{\text{н}}$ – площадка для компостирования, м^2 ;
 $Q_{\text{т}}$ – масса торфа в компосте, т;
 h – высота слоя торфа на площадке компостирования, м;
 γ – плотность торфа, $\text{т}/\text{м}^3$.

Размер площадки компостирования зависит от массы торфа в компосте, которая, в свою очередь, определяется соотношением торфа к навозу.

Траншейный способ. Технология приготовления компоста траншейным способом предусматривает строительство бетонированной траншеи и площадок для хранения торфа и компостирования. Эту технологию можно применять круглый год. Используется она при больших объемах заготовки компоста.

Работы по приготовлению компоста траншейным способом выполняются в следующей последовательности. В траншею с одной стороны самосвальными транспортными средствами выгружают навоз или помет, а с другой стороны бульдозером с площадки хранения текущего запаса подают торф. Одновременно подвозят и рассеивают минеральные удобрения. В траншее все компоненты перемешивают бульдозером или при помощи ПФП-1,2, после чего смесь укладывают в штабеля на площадке компостирования. Сверху штабель укрывают 0,2–0,3 м слоем торфа.

Применяют щелочной и кислый способы компостирования: при первом на 1 т сырого торфа прибавляют 30–50 кг извести или 50–75 кг древесной золы (доза торфяной золы в 2–2,5 раза больше); при втором способе в качестве добавки используют фосфоритную муку (10–20 кг на 1 т сырого торфа): в этом случае кислота торфа растворяет ее и способствует переводу фосфора в усвояемую для растений форму.

При закладке компостов в хранилища последние должны быть оборудованы средствами механизации для загрузки компонентов, их перемешивания, выгрузки и загрузки в транспортные средства.

Торфожижевые компосты. Накапливающуюся в хозяйстве навозную жижу целесообразнее использовать для компостирования с торфом. При этом резко сокращаются потери азота из навозной жижи и повышается удобрительное качество торфа. Для компостирования с навозной жижей подходят все виды торфа, кроме известковых.

Торфожижевые компосты зимой готовят в навозохранилищах, летом – в полевых буртах или непосредственно на осушенных торфяниках. На каждую тонну торфа в зависимости от его влажности и вида расходуют 0,5–1 т навозной жижи. Сначала закладывают бурт из торфа шириной 3–4, высотой 1,5–2 м. Сверху посередине его делают корытообразное углубление на 50–80 см, шириной около 1 м, которое заполняют навозной жижей. После ее впитывания углубление засыпают торфом, и поверхность бурта выравнивают.

Существует другой способ, при котором торф укладывают слоями по 30–50 см до высоты 1,5–2 м. Каждый слой, кроме самого верхнего, увлажняют навозной жижей. Каждый следующий слой торфа необходимо укладывать после разогревания предыдущего, которое наступает через 4–5 дней после внесения жижи.

При хранении компоста в нем энергично протекают процессы нитрификации, а образующиеся нитраты подвергаются денитрификации с образованием молекулярного азота. Поэтому при длительном хранении компоста возможны значительные потери азота. Чтобы затормозить процессы нитрификации, денитрификации и уменьшить потери азота, рекомендуют добавлять в компосты 0,5–1 % хлористого калия, т. к. хлор подавляет процесс нитрификации. Для обогащения компоста фосфором при компостировании добавляют фосфоритную муку (20–30 кг на 1 т компоста).

Торфожижевые компосты можно вносить через 1–1,5 месяца после закладки. Если торфожижевые компосты предполагают внести до истечения этого срока, штабель уплотнять не нужно. Эти компосты можно использовать под любую культуру. Вносят их осенью под вспашку, весной под культивацию (15–25 т/га) или в подкормки (5–10 т/га).

Торфофекальные компосты состоят из фекалий и торфа в соотношении 1:1 или 1:2. Для этого торф укладывают в два сплошных смежных вала с корытовидным углублением между ними и толщиной слоев в местах соприкосновения двух валов около 40–50 см. Торцевые стенки делают бульдозером. Фекалии сливают в углубление. После поглощения их торфом всю массу сгребают бульдозером в бурты без последующего уплотнения. Компосты готовят в поле, на месте применения или непосредственно на осушенном торфянике, расположенном вблизи удобряемого поля. Такие компосты лучше приготавливать весной и летом.

Свежеприготовленная некомпостированная смесь торфа и фекалий по эффективности не уступает прокомпостированной. Однако необходимо помнить, что с фекалиями в почву могут быть занесены патогенные бактерии и яйца гельминтов. Поэтому важно, чтобы в торфофекальном компосте температура поднялась до 56–60°C, при которой погибают возбудители болезней и яйца гельминтов. Для самостерилизации торфофекальную массу следует компостировать в течение 1–1,5 месяца в рыхло уложенных кучах. Более длительное хранение приводит к значительным потерям питательных веществ. Однако, если в компосте температура ниже указанной, его можно использовать только на втором году после закладки. В случае вынужденного длительного хранения фекалий компостировать их лучше при широком соотношении торфа и фекалий. Чтобы избежать возникновения инфекций и инвазий, не рекомендуется применять компосты под овощные культуры.

Норма внесения торфофекальных компостов при использовании в качестве основного удобрения под зерновые культуры – 15–20 т/га, под картофель, силосные и кормовые – 20–25 т/га. Торфофекальные компосты по действию на урожай в большинстве случаев превосходят навоз. Каждая тонна торфофекального компоста (при соотношении в нем торфа и фекалий 2:1) по удобрительной ценности может быть приравнена примерно к 1,5 т навоза.

Торфорастительные компосты готовят, запахивая выращенные на торфяниках бобовые растения. Запахивают или всю выращенную массу (алкалоидный люпин) или только корневые и пожнивные остатки растений из семейства бобовых. В первом случае получают торфосидеральный компост. При выращивании сидератов растительную массу в фазе цветения прикапывают, измельчают и запахивают на глубину 12–14 см. Через 15–20 дней после запашки поверхность торфяника дискуют, после чего торфорастительную смесь сгребают в валы высотой 1,5–2 м и выдерживают 1–2 мес. Торфорастительные компосты по эффективности не уступают полуперепревшему навозу.

Торфопометные компосты готовят на площадках компостирования около птицефабрик или в хозяйствах. На слой торфа 20–25 см насыпают слой птичьего помета 10–20 см. Затем помет перемешивают с торфом тяжелыми дисками и бульдозером формируют бурт шириной не менее 3 м и высотой 2–2,5 м. Длина бурта произвольная. Процесс компостирования в теплый период года длится 1–2 месяца.

Торфопометный компост, приготовленный из 2 частей стандартного торфа и 1 части помета влажностью 90 %, по содержанию азота и фосфора почти не отличается от навоза: азота общего в нем обычно не менее 0,7 %, в том числе азота помета 0,2 %, фосфора – 0,15 и калия – 0,08 %; влажность 70 %.

Компост из 1 части стандартного торфа и 1 части помета влажностью 80 % содержит питательных веществ в 1,5 раза больше (при одинаковой влажности).

Нормы внесения этих компостов составляют под зерновые культуры 10–15 т/га, пропашные – 20–25, овощные – 30–40 т/га.

7.3.6. Солома, пожнивные и корневые остатки

7.3.6.1. Солома

Солома – побочная продукция, представляющая собой листья и стебли, оставшиеся после обмолота урожая зерновых культур. Солома является важным источником органического вещества для улучшения баланса гумуса в почве, т. к. валовое содержание органического вещества в ней немногим меньше, чем в навозе.

Химический состав соломы довольно широко изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий. Солома состоит, главным образом, из трех групп органических соединений – целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнинов (табл. 128; Стейнифорт А.Р., 1983).

Таблица 128 – Химический состав соломы различных культур, % сухого вещества*

Культуры	Гемицеллюлоза	Целлюлоза	Лигнин	Сырой протеин	Декстрины	Зола
Ячмень	27	44	7	3,7	1,4	5,6
Овес	16	41	11	4,7	2,0	4,8
Рис	26	33	7	2,8	0,6	5,7
Пшеница	36	39	10	3,0	0,7	3,4

* дополнено А.Х. Шеудженом

Целлюлоза – полисахарид, являющийся основной составной частью клеточных стенок. Она состоит из субъединиц глюкозы, или виноградного сахара, которые соединены друг с другом в гигантскую молекулу с прямой цепью. Упаковка цепочек образует так называемое мицеллярное строение и придает ее молекуле стойкую волокнистую форму. Гемицеллюлоза родственна по составу растительным камедям и имеет молекулу из гораздо более коротких цепей, чем целлюлоза. Ее углеродная цепочка образуется, главным образом, из пентозных сахаров и служит связующим материалом, который удерживает вместе молекулы и фибриллы целлюлозы. Лигнин – это полимер ароматических соединений, и его главная функция – придавать растительному материалу прочность, жесткость и, возможно, устойчивость к болезням. В состав соломы входят также белки, воски и зольные элементы.

Органические соединения, входящие в состав соломы, химически стабильны и могут быть использованы растениями только после разрушения микроорганизмами. В процессе разложения соломы наблюдается смена микрофлоры, обусловленная специализацией функций микроорганизмов. В первую очередь разлагаются наиболее доступные компоненты соломы, а именно: пентозаны, простые сахара, белки. В это время развивается многочисленная группа неспорообразующих бактерий, в основном рода *Pseudomonas*, а также мукооровые и пикнидиальные грибы. Позднее в разложение соломы включаются микроорганизмы (грибы родов *Mucor*, *Aspergillus*, бациллы – *Bac. Subtilis*, *Bac. Mesentericus*), разлагающие пектиновые вещества. Вслед за разложением пектиновых веществ начинается интенсивное разложение клетчатки и близких к ней соединений. Появляется типичная целлюлозаразрушающая микрофлора (*Cytorhaga*, *Cellvibrio*). Мукооровые грибы сменяются грибами из рода *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*.

В отличие от пентозанов и белков, целлюлоза оказывает более длительное и глубокое воздействие на состояние биологического равновесия почвы. Целлю-

лоза разрушается в почве представителями разных систематических групп микроорганизмов, основные из которых: высшие грибы, микроскопические грибы (в том числе микохитридиевые), миксобактерии, аэробные бактерии *Cellvibrio*, *Cellulomonas*, тиномециты, анаэробные бактерии. В разложении клетчатки участвуют представители родов *Dematium*, *Phoma*, *Penicillium*, *Stachybotrys*, *Monotospora*, *Haplgraphium*, *Trichoderma*. В более плодородных почвах встречаются грибы рода *Chaetomium*. В процессе разложения клетчатки деятельное участие могут принимать несовершенные грибы родов *Aiternaria* *Fumago*.

Интенсивность разложения целлюлозы во многом определяется типом почвы. Характерный состав целлюлозоразлагающей микрофлоры неодинаков для различных типов почв и изменяется в зависимости от содержания органического вещества, гидротермических, физических и химических условий каждой почвы. Интенсивность разложения клетчатки обусловлена широтной зональностью и нарастает по генетическому ряду почв – от подзолов к дерново-подзолистым, серым лесным почвам и черноземам. Наибольшей целлюлозной активностью обладают микроорганизмы, выделенные из чернозема и бурой лесной почвы. Наименьшая активность наблюдается у микроорганизмов, выделенных из подзола.

Солома содержит ряд элементов питания растений (табл. 129; Попов П.Д., Деревягин В.А., 1988). При таком содержании элементов питания растений с 4 т/га соломы зерновых культур в почву поступит 3200 кг/га органического вещества, 14–22 – азота, 3–7 – фосфора, 22–55 – калия, 9–37 – кальция и 2–7 кг/га магния, а также 5–8 г/га серы, 24 – бора, 12 – меди, 116 – марганца, 1,6 – молибдена, 160 – цинка и 0,4 г/га кобальта.

Таблица 129 – Содержание элементов питания растений в соломе, %

Солома	Сухое вещество	Органическое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Отношение C:N (N=1)
Рисовая*	86	81	0,41	0,08	0,58	0,20	0,06	80–90
Пшеничная	86	82	0,45	0,07	0,64	0,21	0,07	80–90
Ржаная	86	82	0,34	0,07	0,52	0,33	0,05	100–110
Ячменная	86	82	0,50	0,18	0,94	0,28	0,05	70–80
Овсяная	86	80	0,42	0,13	1,12	0,24	0,07	80–90
Кукурузная	86	82	0,46	0,16	1,26	0,32	0,14	60–80
Рапсовая	85	80	0,53	0,11	0,85	0,81	0,16	60–70
Зернобобовых	86	80	1,29	0,16	1,07	0,91	0,16	20–25

* дополнено А.Х. Шеудженом

Как видно из таблицы 129, во всех видах соломы, кроме зерновых бобовых культур, широкое отношение углерода к азоту. В прямой зависимости от соотношения C:N находится скорость разложения соломы. Чем уже это соотношение, тем быстрее разложится солома. При внесении соломы в чистом виде в первый год наблюдается некоторое снижение урожая в результате дополнительного потребления азота почвы микрофлорой, разлагающей солому. Для исключения этого нежелательного явления на 1 т соломы вносят от 3,5 до 15 кг азота.

Известны следующие способы использования соломы на удобрение: при получении подстилочного навоза, при производстве компостов, непосредственно на удобрение.

Получение подстилочного навоза. Традиционный способ использования соломы на удобрение – применение ее на корм и подстилку скоту, в результате чего получается подстилочный навоз. Технологические схемы использования соломы при производстве подстилочного навоза складываются из следующих операций.

После уборки урожая солому свозят на края полей или к животноводческим фермам для хранения в скирдах и расходуют на корм и подстилку скоту в стойловый период.

Получение компостов. Солома, предназначенная для компостирования, должна быть убрана комбайном в копны волокушами или скирдовозами и перевезена к площадкам компостирования. Можно во время уборки солому измельчить комбайновыми измельчителями и загрузить в прицепленную к комбайну тележку с последующей доставкой на площадку компостирования.

Прежде чем приступать к закладке компоста, следует запомнить несколько несложных правил:

1. Чтобы компост не стал рассадником сорняков, не рекомендуется использовать для компостов обсемененные растения сорняков.
2. Нельзя закладывать в компостные кучи зараженную фитофторой картофельную ботву, заболевшие грибковыми болезнями овощные растения.
3. Можно использовать в компост зараженные вирусными и бактериальными болезнями растения, т. к. их возбудители погибают при компостировании.
4. Лучше вносить в компост все минеральные удобрения, где они перерабатываются и войдут в состав гумусовых соединений.

Закладку штабеля компоста начинают с подготовки соломенной подушки. Измельченную солому укладывают шириной 4 м на длину площадки и уплотняют гусеничным трактором. Толщина подушки после прикатывания должна составлять 50–70 см. Затем на подушку вывозят бесподстилочный навоз и переслаивают его соломой в соотношении навоз-солома 10:1 по массе. В зависимости от влажности навоза штабель наращивают до высоты 2,0–2,5 м.

В зимний период применяют очаговый способ компостирования. Соломенную подушку укладывают слоем 20–30 см на ширину 10 м и прикатывают трактором. На подушку при помощи тракторных тележек укладывают бесподстилочный навоз и измельченную солому в том же соотношении. С наступлением положительных температур, подсыханием площадки и оттаиванием массы навоза ее перемешивают бульдозером и формируют штабель шириной 4 м, высотой 2,5–3,0 м, длина произвольная.

Летом рекомендуется готовить компосты площадочным способом. Соломенную подушку кладут толщиной 20–30 см, завозят навоз в соотношении навоз-солома 10:1, выдерживают в течение 2–3 дней и затем бульдозером формируют штабель. В летний период компосты созревают в течение 2–3 мес., после чего их можно вносить в почву по прямоточной технологии навозоразбрасывателями или тракторными тележками вывозить на края полей для укладки в штабеля с внесением по перевалочной технологии.

Удобрение соломой. Наиболее широко распространенный способ удобрения соломой заключается в ее измельчении, разбрасывании по полю и заделывании в почву дисковой бороной, лушильником или фрезой. Такой способ дает наибольший эффект в зоне достаточного увлажнения на тяжелых почвах, оптимальная глубина заделки соломы – 5–8 см.

Норма внесения соломы озимых – 3–5 т/га, яровых – 2–3 т/га. Солому во время уборки зерновых измельчают до 5–10 см и разбрасывают. По соломе

вносят азотные удобрения – 40–60 кг/га азота, а на почвах, бедных фосфором, желательно добавить и фосфорные удобрения. Солому следом за внесением удобрений заделывают луцильником на глубину 5–8 см, а когда она заметно разложится, проводят зяблевую вспашку на нормальную глубину. Если сразу запахать солому на глубину 25–30 см, она будет очень медленно разлагаться.

Солому можно и не измельчать, а оставить в валках и затем заделать в почву плоскорезом. В этом случае после обмолота зерновой культуры вносят расчетное количество азотных удобрений и осуществляют плоскорезную обработку почвы на глубину 12–15 см с движением агрегата поперек валков соломы.

Удобрение соломой хорошо сочетается с внесением жидкого навоза. При удобрении жидким навозом целесообразно оставлять солому в поле в измельченном состоянии и запахивать ее. Неизмельченная крупная солома не дает хорошего удобрительного эффекта. Чтобы обеспечить равномерное распределение соломы по поверхности поля, ее измельчают с помощью навесных или прицепных измельчителей, агрегированных с комбайнами.

Наиболее распространены два метода внесения соломы: *мульчирование* и *соломенное укрытие*. *Мульчирование* соломы заключается в ее измельчении, равномерном покрытии почвы мульчей и ее мелкой заделке. После уборки зерновых солому смешивают с почвой дисковой бороной или луцильником. Этот прием дает хороший результат во влажных условиях, т. к. предотвращает сильный рост сорняков. В районах, где позволяют климатические условия, мульчированную почву целесообразно использовать под посев пожнивной культуры. Мульчирование соломы является эффективным приемом в борьбе с эрозией почвы.

При использовании метода *соломенного укрытия* измельченную солому оставляют в поле и запахивают лишь весной. Под укрытием создаются оптимальные условия для развития микрофлоры и почвенных животных, которые обеспечивают интенсивную переработку и разложение органического материала. Укрытие положительно влияет на структуру и спелость почвы, сокращает испарение влаги. Этот метод внесения соломы целесообразно использовать в среднеувлажненных районах на слабозасоренных почвах, сочетая его с подсевом сидератов.

Внесение соломы в почву увеличивает ферментативную активность. Отмечается увеличение фосфатазной, дегидрогеназной и инвертазной активности почвы, а также численности микроорганизмов. Заделка в почву соломы, оказывая существенное воздействие на ее микробиологическую активность, влияет на процессы трансформации азота. В частности, внесение соломы заметно смещает соотношение микробиологических процессов мобилизации и иммобилизации в сторону преобладания последнего, в результате чего большая часть внесенного азота закрепляется в почве в органической форме. Однако это довольно существенное количество азота не потеряно для растений, т.к. процессы мобилизации и иммобилизации обратимы. Биологически связанный азот минерализуется и используется последующими культурами.

Опыты показывают, что внесение под поздние пропашные культуры 5–10 т/га соломы с азотными удобрениями в ряде случаев дает такой же эффект, как и применение обычных доз навоза.

Использование соломы непосредственно на удобрение дает не только прибавку урожая и повышает плодородие почвы, но и освобождает от больших издержек на ее сбор и транспортировку.

Положительные результаты дает и использование соломы в качестве мульчи, для борьбы с ветровой и водной эрозией. Мульчирование создает благоприятные условия для впитывания воды в почву, уменьшает, а иногда и

полностью устраняет опасность поверхностного стока, способствует более равномерному распределению воды по поверхности почвы, улучшает структуру пахотного горизонта, ослабляет испарение влаги.

Хороший результат получается при удобрении соломой в сочетании с сидератами. При этом могут быть использованы различные виды зеленого удобрения: самостоятельные посевы, пожнивные и подсевные культуры. Использование в качестве сидератов бобовых растений также снимает необходимость внесения азотных удобрений.

7.3.6.2. Пожнивные и корневые остатки

Пожнивные и корневые остатки, остающиеся на поле после уборки урожая, являются одним из постоянных источников поступления органических веществ в почву. Их количество в значительной степени зависит от продуктивности и биологических особенностей культур севооборота (табл. 130; Городний Н.М., 1990).

Таблица 130 – Накопление пожнивных и корневых остатков в севообороте, ц/га

Культура	Без удобрений		С удобрениями	
	пожнивные остатки	корневые остатки	пожнивные остатки	корневые остатки
Озимая рожь на зеленую массу	2,3	19,1	4,8	24,1
Люпин	4,7	14,4	6,7	20,6
Озимая рожь	8,4	15,7	11,2	20,7
Сахарная свекла	–	7,3	–	11,0
Овес	6,1	15,8	8,6	22,1
Кукуруза	3,6	12,7	6,8	22,5
Клевер	9,6	32,4	12,4	39,1
Картофель	1,1	7,5	2,6	8,8
Ячмень	6,6	19,1	8,8	21,6
Всего за ротацию	50,6	158,8	73,3	212,0
На 1 га пашни	5,6	17,1	8,1	23,6

Больше всего корневой массы накапливают бобовые многолетние травы, меньше – зерновые культуры, самое незначительное количество корней оставляют картофель и свекла. Удобрения способствуют увеличению накопления корневых остатков, как отдельными культурами, так и в целом за ротацию севооборота.

Количество пожнивных остатков неодинаково для разных культур севооборота. Оно в значительной степени колеблется в зависимости от высоты среза и способа уборки. Удобрения существенно увеличивают количество пожнивных остатков. Корневые и пожнивные остатки кормовых культур далеко не равноценны в качественном отношении. Наиболее высокое процентное содержание азота и фосфора в растительных остатках обнаружено у многолетних бобовых трав, а также в корневых остатках картофеля (табл. 131; Городний Н.М., 1990).

Удобрения способствуют значительному увеличению накопления питательных веществ в почве с пожнивными и корневыми остатками, что обусловлено как повышением массы органических остатков культур севооборота, так и увеличением процентного содержания азота, фосфора и калия в них.

Таблица 131 – Накопление питательных веществ в пожнивных и корневых остатках, кг/га

Культура	Без удобрений			С удобрениями		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая рожь на зеленую массу	25,26	8,12	10,88	38,98	11,92	22,11
Люпин	34,19	6,87	6,67	47,10	11,05	18,38
Озимая рожь	19,47	6,34	12,32	30,37	8,96	23,55
Сахарная свекла	10,50	2,97	3,81	14,85	4,49	7,45
Овес	17,36	5,90	10,73	25,91	9,54	23,80
Кукуруза	17,25	4,45	7,06	30,93	9,20	22,50
Клевер	77,18	19,93	16,87	97,78	28,05	38,40
Картофель	15,68	3,12	1,75	19,50	3,91	4,16
Ячмень	26,42	7,37	8,64	32,66	8,92	17,50
Всего за ротацию	260,83	71,01	90,48	367,37	105,55	206,61
На 1 га пашни	28,83	7,89	10,05	40,82	11,72	22,96

7.3.7. Зеленое удобрение

Зеленое удобрение – органическое удобрение, получаемое путем выращивания растений и последующего запахивания их зеленой массы. Следовательно, под зеленым удобрением понимают заделку в почву еще неотмершей зеленой, сочной, частично одревесневшей биомассы растений, богатой сахарами, крахмалом, белком и азотом, а также их корней, еще функционирующих ко времени обработки почвы. Это принципиально отличает зеленое удобрение от заделки в почву других органических удобрений, будь то сухих (солома) или частично перепревших (навоз).

Повышение плодородия почвы путем запахивания в нее зеленого удобрения называется сидерацией. Термин "сидерация" впервые предложил в XIX в. французский ученый Ж. Виль. Культуру, запахиваемую в почву, называют сидератом. Родиной зеленого удобрения считаются страны древней земледельческой культуры – Китай и Индия, которые возделывают растения в качестве зеленого удобрения около 3000 лет. В Китае и теперь применяют сидерацию на площади более 10 млн. га. О пользе зеленого удобрения знали и древние римляне. Еще Плиний (79 г. н. э.) писал: "Все согласны в том, что нет ничего полезнее люпина, если его до образования бобов заделать в почву плугом или двузубой мотыгой, или пучки люпина, срезанные у поверхности почвы, закопать близ корней плодовых деревьев и кустов винограда... Это такое же хорошее удобрение, как и навоз". Во Франции и Испании зеленое удобрение стало широко распространяться в начале XVI в., а в конце XVIII в. – в Германии, где в качестве сидерата широко применяли люпин. В России первые опыты с люпином в качестве сидерата проводились профессором П.В. Будриным на опытном поле в Новой Александрии (ныне Пулвы, Польша) с 1881 по 1905 г. и профессором С.М. Богдановым в 1888 г. на полях бывшего Радомысльского уезда. Этими опытами и было положено начало внедрения зеленых удобрений в России.

Зеленое удобрение, как весьма эффективное и дешевое местное средство, имеет особо большое значение для повышения плодородия малокультурен-

ных почв при недостатке навоза и других органических удобрений в хозяйствах. Расширение посевов сидератов позволяет также в определенной мере ограничить использование запасов торфа – невосполняемого фактора регуляции биоклиматических процессов на окружающих территориях.

Лучшими сидератами являются бобовые растения. Клубеньковые бактерии, развивающиеся на их корнях, фиксируют азот воздуха и обогащают им почву. При выращивании бобовых сидератов на 1 га образуется до 50 т зеленой массы, содержащей до 200 кг азота. По содержанию азота 1 т зеленого удобрения равноценна 1 т навоза (табл. 132).

Таблица 132 – Содержание элементов питания в навозе и зеленом удобрении, кг/т

Удобрение	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Навоз смешанный	5,0	2,0	6,0	7,0
Зеленая масса: люпина	4,5	1,0	1,7	4,7
донника	5,7	0,5	1,9	9,7

Азот в зеленой массе запахиваемых растений находится преимущественно в виде белковых соединений. В процессе минерализации органической массы происходит аммонификация и в дальнейшем нитрификация. Эти процессы переводят азот зеленого удобрения в формы, доступные для питания растений.

Скорость разложения запаханной сидеральной массы зависит от ряда условий. Имеют значение вид и возраст сидерата, гранулометрический состав и влажность почвы, глубина заделки. Чем старше растения, тяжелее гранулометрический состав и больше глубина заделки удобрения, тем медленнее оно разлагается. Следовательно, для ускорения разложения и скорейшего получения элементов питания в доступном для растений виде глубина заделки должна быть меньше. И наоборот, если преследуется цель повысить содержание гумуса в почве, запахивать надо глубже, так как при медленном разложении увеличивается коэффициент гумификации. Замедляет разложение сидератов запахка вместе с бобовыми относительно инертных, медленно разлагающихся материалов, таких как торф, солома. Такой же эффект получают при смешанных посевах для сидерации бобовых и злаковых культур (Безуглова О.С., 2000).

В первый год действия коэффициент использования азота зеленого удобрения часто выше, чем навоза. Кроме того, бобовые сидераты, обладая хорошо развитой и глубоко проникающей в почву корневой системой, извлекают питательные элементы из нижних горизонтов почвы, а также усваивают фосфор и другие питательные вещества из труднорастворимых соединений. Поэтому при разложении запаханной растительной массы пахотный слой почвы обогащается не только органическим веществом и усвояемыми соединениями азота, но также фосфором, калием и кальцием.

Зеленое удобрение оказывает на почву многостороннее положительное воздействие. Под его влиянием несколько снижается кислотность почвы, уменьшается подвижность алюминия, повышается буферность и емкость поглощения. При запахке зеленой массы растений улучшается структура почвы, уменьшается объемная масса пахотного слоя и плотность сложения почвы. Это весьма важно, т. к. в данном случае ликвидируются отрицательные последствия уплотнения пахотного слоя почвы тяжелой техникой. В результате запахки сидератов значительно увеличиваются водопроницаемость и влагоем-

кость почвы, вследствие чего снижается поверхностный сток осадков и резко возрастает содержание влаги в почве. Все это улучшает пищевой режим и физические свойства почвы, усиливает жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Сидераты уменьшают засоренность полей, т. е. выполняют фитосанитарную роль. При их применении совместно с минеральными удобрениями повышается эффективность последних. При разложении запаханного зеленого удобрения почвенный и надпочвенный воздух обогащаются угольной кислотой, что способствует переводу труднодоступных почвенных фосфатов и других элементов минерального питания в усвояемые для растений формы.

Наряду с навозом зеленые удобрения способствует созданию бездефицитного баланса гумуса и даже некоторому его накоплению (табл. 133; Довбан К.И., 1990).

Таблица 133 – Баланс гумуса в почве, т/га

Культуры	Расход (-), приход (+) органического вещества
Основные:	
пропашные	От -2,9 до -4,4
кукуруза	От -2,2 до -3,3
зерновые, лен, конопля	От -1,1 до -1,6
однолетние бобовые	От +0,6 до +0,8
многолетние бобовые травы	От +2,7 до +3,3
Пожнивные:	
пропашные (брюква, турнепс)	От -1,5 до -2,2
однолетние бобовые	От +0,4 до +0,6
многолетние подпокровные	От + 1,8 до +2,2

Эти данные показывают, что только однолетние и многолетние бобовые способствуют накоплению в почве органического вещества. Чтобы обеспечить положительный баланс гумуса в почве, рекомендуется вносить навоз, компосты, солому, зеленое удобрение и др. (табл. 134; Довбан К.И., 1990).

Таблица 134 – Коэффициенты пересчета различных видов удобрений в гумус

Органические удобрения	Содержание сухого вещества, %	Коэффициент
Подстилочный навоз	25	0,20
Твердая фракция экскрементов: КРС	20	0,16
свиней	25	0,20
овец	30	0,24
птицы	30	0,24
лошадей	25	0,24
Жидкий навоз	1–4	0,005–0,02
Солома	–	0,68
Компост	25–30	0,06–0,08
Сапропель	–	0,05
Зеленое удобрение	10–15	0,04–0,06
Осадок сточных вод	–	0,10

Руководствуясь выходом органического вещества и данной таблицей, можно рассчитать потребность для того или иного поля (участка) в органических удобрениях. Например, под кукурузу, которая расходует 2,2 т/га гумуса,

необходимо вносить не менее 11 т/га подстилочного навоза (2,2:0,20), или 110 т/га жидкого навоза, содержащего до 4 % сухого вещества, или 37-55 т/га растительной массы сидерата (2,2:0,06 или 2,2:0,04).

В качестве зеленого удобрения (сидератов) преимущественно возделывают бобовые растения – люпин, донник, вику, чину, эспарцет, сераделлу, кормовой горох. В некоторых случаях используют небобовые культуры (горчица, гречиха, амарант) или смеси бобовых со злаками.

Культуры, используемые на зеленое удобрение, по-разному влияют на накопление гумуса. Это зависит от того, используется на удобрение только наземная масса сидерата, запахивается она на месте роста с корневой системой или в почву заделываются только пожнивные и корневые остатки. Особенно перспективно совместное применение зеленого удобрения с соломой. Даже при произрастании под покровом зерновых и в пожнивный период многолетние травы (многолетний люпин) накапливают до 2,2 т/га органического вещества.

Накопление гумуса и азота зависит и от срока заделки сидерата. На легких по гранулометрическому составу почвах при заделке в июле-августе под озимые культуры зеленое удобрение быстро разлагается, высвободившиеся элементы питания (азот в нитратной форме, калий, кальций, магний и др.) могут вымываться осенне-зимними и ранневесенними осадками и мигрировать за пределы корнеобитаемого слоя. Весенняя заделка создает лучшие условия для сохранения и накопления органического вещества и азота.

На образование и накопление гумуса положительно влияет заделка сидератов вместе с соломой, выступающей в данном случае в роли ингибитора нитрификации. Ту же роль выполняют и пожнивные остатки покровной зерновой культуры, под которую подсевают сидерат. Заделка многолетнего люпина, белого донника, сераделлы с пожнивными остатками покровной культуры способствует замедлению разложения зеленой массы сидерата, что создает условия для накопления гумуса в почве.

Небобовые сидераты – рапс, горчица, сурепица имеют значение как почвозащитные культуры, препятствующие вымыванию нитратов в осенний период. Под них и следующую за ними культуру необходимо вносить минеральный азот.

Выбор способов возделывания и использования сидеральных культур зависит от почвенных, климатических и хозяйственных условий (табл. 135; Довбан К.И., 1990).

Различают посевы сидератов самостоятельные и промежуточные. При использовании самостоятельной формы на поле высевают только то растение, зеленую массу которого запахивают в почву как органическое удобрение. Использование самостоятельной формы сидерации связано с потерей урожая с удобряемой площади, и этот прием следует применять лишь на малопродуктивных почвах, на которых другие растения без удобрений дают низкий урожай.

При промежуточной сидерации растение-сидерат использует только вторую или первую половину вегетационного периода, после уборки или до посева основной культуры. В зависимости от срока посева промежуточная культура может быть подсевной, послеуборочной или поживной.

При подсевной культуре сидераты подсевают под предшествующую основную продовольственную культуру. Сидеральная культура развивается какое-то время под покровом основной культуры, тем самым сокращается время возделывания сидератов на данном участке. После уборки основной культуры сидерат некоторое время растет и затем заделывается в почву. Этот способ возделывания сидератов предпочтителен в районах, где период между уборкой предшественника сидерата и посевом последующей удобряемой куль-

Таблица 135 – Размещение сидератов по природным зонам Российской Федерации

Республика, край, область	Агроклиматические показатели						Рекомендуемые сидераты
	характеристика влажности и тепла. Тип и подтип почв	К	СТ	годовое количество осадков, мм	КУ	БК	
1	2	3	4	5	6	7	8
Среднетаежная зона							
Южные части Карелии, Архангельской области и Республики Коми; северная и восточная части Ленинградской и Вологодской областей, северная часть Кировской и Пермской областей	Избыточно влажная, недостаточно обеспеченная теплом. Почвы глееподзолистые и подзолистые (связного и легкого гранулометрического состава)	126–163	1250–1650	500–700	1,33	77	Подсевные: многолетний люпин, райграс; поукосные; горчица белая, редька масличная, рапс яровой, сурепица яровая. Чистые пары заменяют сидеральными
Северные части Екатеринбургской, Тюменской, Томской областей, западная часть Красноярского края	Избыточно влажная и влажная, недостаточно обеспеченная теплом. Почвы болотно-подзолистые, супесчано (песчано)-суглинистые, глееподзолистые	181–194	1100–1700	400–500	1,00–1,33	77	Подсевные: многолетний люпин, донник, райграс; поукосные: горчица белая, редька масличная, рапс яровой, сурепица яровая. Чистые пары заменяют сидеральными
Центрально-северная часть Красноярского края, северная часть Иркутской области	Влажная, недостаточно обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, глееподзолистые и подзолистые	199–226	1000–1400	350–500	1,00–1,33	66	Чистые посевы: горчица белая, редька масличная, рапс яровой, райграс, озимая рожь
Республика Саха, северо-восточная часть Иркутской области	Полузасушливая, недостаточно обеспеченная теплом. Почвы лёссовидные суглинки с пятнами солонцов, мерзлотно-таежные	238–283	1000–1500	200–350	0,49–0,78	52	Чистые посевы: горчица белая, редька масличная, рапс яровой, озимая рожь, донник

1	2	3	4	5	6	7	8
Южнотасжно-лесная зона							
Ленинградская, Псковская, Новгородская области, южная часть Карелии	Избыточно влажная, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы подзолистые, суглинистые и супесчаные, карбонатные, болотно-подзолистые и глееподзолистые	111–140	1600–2300	500–800	1,33	104	Подсевные: многолетний люпин, донник, райграс; поукосные: бобово-злаковые смеси, белая горчица, редька масличная, рапс яровой, перко. Чистые пары заменяют сидеральными
Брянская, Смоленская, Калининская, Ярославская, Владимирская, Ивановская, Костромская, Калужская и Московская области, северная часть Рязанской области, западная и северо-восточная части Нижегородской области, юго-западная часть Вологодской области	Избыточно влажная и влажная, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы дерново-подзолистые, песчаные, суглинистые, болотно-подзолистые	142–180	1600–2400	500–800	1,00–1,33	104	Подсевные: многолетний люпин, сераделла, донник, райграс; озимые: рожь; поукосные: бобово-злаковые смеси, узколистный люпин, вика, пелюшка. Чистые пары заменяют сидеральными
Кировская и Пермская области, Республики Марий Эл и Удмуртия, северная часть Башкиростана	Влажная, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы дерново-подзолистые, песчано-суглинистые, серые лесные	158	1600–2400	500–600	1,00–1,33	104	Поукосные: крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси. Часть чистых паров заменяют сидеральными
Томская область, центральные части Екатеринбургской и Тюменской областей, северная часть Омской области, полоса южнее центра Красноярского края	Влажная, недостаточно и ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы дерново-подзолистые, песчано-суглинистые и болотно-подзолистые	184–199	1500–1850	400–500	0,77–1,00	88	Поукосные: крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси. Часть чистых паров заменяют сидеральными

1	2	3	4	5	6	7	8
Северо-западная часть Иркутской области и восточная часть Красноярского края	Полувлажная, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы дерново-подзолистые, суглинистые, пойменные южно-таежные	217–228	1400–1600	300–400	0,77–1,00	76	Комбинированно–кулисные, сидерально–донниковые пары; поукосные: крестоцветные
Амурская и Сахалинская области, небольшая западная часть Хабаровского края	Избыточно влажная и влажная, недостаточно и ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы дерново-подзолистые и подзолисто-буроземные, суглинистые и болотно-подзолистые	191–274	1000–2100	580–1000	1,00–1,33	93	Подсевные: донник белый и желтый, райграс; озимые: рожь; поукосные: бобово-злаковые смеси, крестоцветные культуры, соя, фацелия. Чистые пары заменяют сидеральными
Приморский край, юго-восточная часть Хабаровского края и небольшая юго-восточная часть Амурской области	Влажная, среднеобеспеченная теплом. Почвы подзолисто-буроземные и болотно-подзолистые, суглинистые	Климат муссонный	2000–2600	700–1000	1,00–1,33	126	Подсевные: донник белый и желтый, райграс, многолетний люпин; озимые: рожь, перко; поукосные: бобово-злаковые смеси. Чистые пары заменяют сидеральными
Лесостепная зона							
Курская, Орловская Тульская и Белгородская области, южные части Брянской, Калужской и Московской областей, северо-западные части Липецкой и Воронежской областей	Полувлажная и влажная (северо-западная часть), среднеобеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы выщелоченные и типичные, серые лесные	166–184	2000–2800	400–600	0,77–1,16	125	Поукосные и пожнивные: крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси, узколистый люпин; озимые: рожь, пшеница, рапс, сурепица, перко. Чистые пары заменяют комбинированно-кулисными и сидеральными
Тамбовская, Рязанская и Пензенская области, Республика Мордовия, юго-восточная часть Липецкой области, северо-восточная часть Воронежской области, юго-западная часть Нижегородской области	Почвы суглинистые, черноземы выщелоченные, дерново-подзолистые и серые лесные						Поукосные и пожнивные: крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси, узколистый люпин; озимые: рожь, пшеница, рапс, перко. Чистые пары заменяют комбинированно-кулисными и сидеральными

1	2	3	4	5	6	7	8
Республика Чувашия, Ульяновская область, восточная часть Республики Мордовия, юго-восточная часть Нижегородской области, северо-западная часть Татарстана и северо-западная часть Самарской области	Почвы суглинистые, черноземы выщелоченные, черноземы карбонатные, серые лесные						Подсевные: донник, райграсс; поукосные: крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси; озимые: рожь. Чистые пары заменяют комбинированно-кулисными и сидеральными
Татарстан и Башкиростан, центральная и северо-восточная части Самарской области, восточная часть Ульяновской области, южная часть Удмуртии, западная часть Екатеринбургской области, северная часть Оренбургской области и южная часть Пермской области	Полувлажная, ниже среднего и среднеобеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы выщелоченные, лугово-черноземные солонцеватые, серые лесные	181–191	1600–2500	400–600	0,77–1,00	111	Подсевные: донник, райграсс; поукосные: крестоцветные и бобово-злаковые смеси; озимые: рожь. Чистые пары заменяют комбинированно-кулисными и сидеральными
Новосибирская область, северо-восточная часть Челябинской области, юг Екатеринбургской и Тюменской областей, центральная часть Омской области	Полувлажная и полузасушливая, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, лугово-черноземные солонцеватые, серые лесные и лугово-черноземные	189–208	1800–2250	300–400	0,67–1,00	97	Поукосные: крестоцветные культуры и бобово-злаковые смеси; озимые: рожь. Чистые пары заменяют кулисными, комбинированно-кулисными и частично сидеральными
Кемеровская область, восточная часть Новосибирской области, небольшая часть юга Томской области и северо-восточная часть Алтайского края	Полувлажная и влажная, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, серые лесные, черноземы выщелоченные, лугово-черноземные солонцеватые	197–208	1600–2050	400–700	0,77–1,16	97	Подсевные: донник белый и желтый, райграсс; поукосные: крестоцветные культуры и бобово-злаковые смеси, фацелия; озимые: рожь. Чистые пары заменяют комбинированно-кулисными и сидеральными

1	2	3	4	5	6	7	8
Полоса Красноярского края, восточная часть Кемеровской области, южная часть Иркутской области	Полузасушливая и полувлажная, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы выщелоченные и серые лесные	198–233	1400–1700	300–500	0,67–1,16	77	Частично подсевные: донник белый и желтый; поукосные: крестоцветные культуры и бобово-злаковые смеси; озимые: рожь. Чистые пары заменяют кулисными, комбинированно-кулисными и частично сидеральными
Степная зона							
Краснодарский край, Республика Адыгея, юго-западная часть Ставропольского края, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северо-Осетия-Алания, Чеченская республика, Республика Ингушетия	Полузасушливая и полувлажная, выше среднего и повышено обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы типичные и обыкновенные	167–187	2800–3600	400–800	0,55–1,00	147	Во влажных районах подсевные: донник белый и желтый; озимые: рожь, пшеница, рапс, перко; пожнивные: бобово-злаковые смеси, крестоцветные культуры. Чистые пары заменяют комбинированно-кулисными и сидеральными
Северо-восточная часть Краснодарского края, северо-западная часть Ставропольского края, Ростовская область, северо-западная часть Республики Калмыкия	Почвы суглинистые, черноземы обыкновенные						Озимые: рожь, пшеница, рапс, перко; пожнивные: бобово-злаковые смеси, крестоцветные культуры. Чистые пары заменяют кулисными, комбинированно-кулисными и при орошении – сидеральными
Саратовская область, северо-восточная часть Ростовской области, северная часть Волгоградской области, юго-западная часть Воронежской области и южная часть Белгородской области	Полузасушливая и засушливая, средне и выше среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы обыкновенные, южные и выщелоченные	177–195	2400–3300	350–500	0,44–0,77	120	Озимые: рожь, пшеница, рапс, перко; пожнивные: бобово-злаковые смеси, крестоцветные культуры. Чистые пары заменяют кулисными и частично комбинированно-кулисными, а при орошении – сидеральными

1	2	3	4	5	6	7	8
Оренбургская область, юго-западная часть Куйбышевской области, восточная часть Саратовской области	Полузасушливая и засушливая, среднеобеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы обыкновенные, южные и солонцеватые	197–216	2200–2800	300–400	0,40–0,67	92	При орошении: пожнивные – бобово-злаковые смеси, крестоцветные культуры. Чистые пары заменяют (без орошения) кулисными и частично комбинированно-кулисными
Южные части Омской и Новосибирской областей, северо-восточная часть Оренбургской области, юг Челябинской области	Засушливая, средне и ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, лугово-черноземные, черноземы южные, солонцеватые и солонцовые	212–223	2000–2400	250–350	0,44–0,77	91	При орошении: поукосные – крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси. Чистые пары заменяют (без орошения) кулисными
Юго-запад Алтайского края	Полузасушливая и засушливая, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы южные, обыкновенные и выщелоченные	212–216	1600–2300	300–500	0,44–0,77	60	При орошении: поукосные – крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси. Чистые пары заменяют (без орошения) кулисными и комбинированно-кулисными
Республика Тува, локально юг Бурятии, Читинская область и Красноярский край	Полузасушливая и засушливая, ниже среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, черноземы обыкновенные и южные, суглинисто-щебнистые, серые лесные	215–263	1400–2000	200–400	0,44–0,77	67	При орошении: поукосные – крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси. Чистые пары заменяют (без орошения) кулисными и частично комбинированно-кулисными
Сухостепная зона							
Западная часть Республики Калмыкии, южно-центральная часть Волгоградской области, южная часть Ростовской области, юго-восточная часть Ставропольского края, северная часть Республики Дагестана	Очень засушливая, выше среднего и повышено обеспеченная теплом. Почвы суглинистые, каштановые солонцеватые, песчаные, каштановые	193–205	2750–3600	250–350	0,33–0,55	99	То же

1	2	3	4	5	6	7	8
Северо-восточная Волгоградской области и юго-восточная часть Саратовской области	Очень засушливая, выше среднего обеспеченная теплом. Почвы суглинистые и песчано-суглинистые, темно-каштановые, каштановые солонцеватые	209–224	2500–3100	250–350	0,33–0,44	78	То же
Юго-восточная часть Оренбургской области и восточная часть Алтайского края	Очень засушливая, средне-обеспеченная теплом. Почвы песчано-суглинистые и суглинистые, каштановые и каштановые солонцеватые	221–229	2200–2800	250–360	0,33–0,44	67	То же
Полупустынная зона							
Юго-восточная часть Ставропольского края, северная часть Республики Дагестана, центральная часть Республики Калмыкия, северная часть Астраханской, юго-восточная часть Волгоградской и южная часть Саратовской областей	Полусухая, выше среднего и повышено обеспеченная теплом. Почвы суглинистые и песчано-суглинистые, светло-каштановые, солонцово-полупустынные и пойменно-полупустынные	205–232	2800–3650	100–300	0,11–0,33	39	Возможны только при орошении: пожнивные – бобово-злаковые смеси, крестоцветные культуры. Пары – чистые, а при орошении – сидеральные и занятые
Пустынная зона							
Астраханская область, юго-восточная часть Республика Калмыкия	Очень сухая, повышено обеспеченная теплом. Почвы песчано-суглинистые, бурые, солонцово-пустынные, пойменно-пустынные	206–240	3200–4000	75–175	0,11	10	Возможны только при орошении: пожнивные – бобово-злаковые смеси и крестоцветные культуры

Примечания: 1) К – коэффициент континентальности; СТ – сумма температур воздуха выше 10 °С; КУ – коэффициент годового атмосферного увлажнения (отношение осадков к испаряемости); БК – климатический индекс биологической продуктивности в баллах относительно средней продуктивности. 2) В графе "Рекомендуемые сидераты" указаны крестоцветные культуры (горчица белая, редька масличная, рапс озимый и яровой, сурепица озимая и яровая, перко), но применять необходимо те, которые в данных условиях наиболее приемлемы; в бобово-злаковые смеси входят: многолетний и однолетний люпин, сераделла, донник, вика яровая и мохнатая, полюшка, горох, астрагал, чина, чечевица, берсим (клевер александрийский), шаддар (клевер персидский), соя в смеси с овсом, ячменем и другими злаковыми культурами. Хорошие результаты дает отава клевера, люцерны и других бобовых. 3) В сидеральных парах в зависимости от условий можно применять все виды сидератов – озимые, подсевные, поукосные, пожнивные и самостоятельные посевы весной.

туры слишком короткий для того, чтобы вырастить достаточное количество зеленой массы на удобрение. Применяют подсевную культуру сидератов и в том случае, когда климатические условия неблагоприятны для развития сидерата в начале вегетации. Например, в Нечерноземной зоне при возделывании в пару под покров предшествующей яровой культуры подсеивают многолетний люпин. Можно подсеивать люпин и весной под озимые культуры, а запахивать через год под поздние яровые культуры.

В районах с теплой, влажной и продолжительной осенью сидеральные культуры возделывают в пожнивных посевах. Их используют для удобрения сахарной свеклы, кормовых корнеплодов, кукурузы, пшеницы. В регионах с мягкой зимой распространены подзимние (осенние) культуры сидератов. Сеют их в сентябре-октябре, а запахивают весной следующего года. В зависимости от условий осенняя или подзимняя культура сидератов может быть как подсевной, так и поживной.

Разновидностью промежуточной формы сидерации является использование на зеленое удобрение отавы сераделлы, кормового люпина или других трав, после раннего скашивания их зеленой массы на корм скоту. Отросшая отава запахивается в почву за 15–20 дней до посева озимых. При этом ее зеленая масса достигает 100–150 ц/га, а зеленая масса, скошенная на корм, при соблюдении рациональных агротехнических приемов составляет 150–250 ц/га.

Сидераты могут занимать не весь участок, а только его часть в виде полос. При такой кулисной культуре на участке чередуют полосы различной ширины, занятые и не занятые сидератами. Причем, зеленую массу сидератов используют как удобрение на соседней полосе. Кулисное возделывание сидератов применяют обычно в междурядьях садов, чайных и цитрусовых плантаций. Этот же прием используют на склонах, размещая кулисы поперек склона для предотвращения водной эрозии.

Выращенную зеленую массу сидератов используют по-разному в зависимости от условий, целей, культур. На зеленое удобрение употребляют или всю биомассу (как зеленые части растения, так и корни) или только часть. В связи с этим различают три основные формы зеленого удобрения: полное, укосное, отавное. **Полное зеленое удобрение** – когда в почву запахивают всю зеленую массу и корни, **отавное** – когда запахивают стерневые остатки и корни растений, **укосное** – когда зеленую массу для заправки перевозят на другой участок.

Зеленое удобрение имеет универсальный характер, и применять его можно в разнообразных климатических условиях и почвах. Но наибольшее распространение зеленое удобрение получило в Нечерноземной зоне на дерново-подзолистых почвах. Большое значение зеленое удобрение имеет и на затопляемых рисовых почвах.

Выбирая растения для сидерации, учитывают следующие требования. За сравнительно небольшой отрезок времени сидеральная культура должна набрать достаточно высокую органическую массу. При этом желательно, чтобы она не иссушала почву, не обедняла ее элементами питания, т.е. не ухудшала условия роста и развития последующей культуры. Именно поэтому чаще всего выбор падает на культуры семейства бобовых, которые не только не нуждаются в азотных удобрениях, но сами пополняют запасы почвенного азота, фиксируя его из атмосферы с помощью клубеньковых бактерий. По данным М.Ф. Федорова (1952), люпин усваивает до 400 кг на гектар атмосферного азота, люцерна – около 140, донник – 130, горох и вика – 100, соя – около 150 кг/га.

Срок заправки сидерата зависит от целого ряда условий. В засушливых районах, чтобы исключить иссушение почвы, зеленое удобрение запахивают раньше.

Так же поступают и в том случае, если в начальный период роста удобряемой культуры, в почве недостаточно подвижного азота. Это необходимо сделать, чтобы дать время для разложения сидеральной массы и перевода азота из органической формы в доступные для растений минеральные соединения.

7.3.8. Органические удобрения на основе промышленных и коммунальных отходов

7.3.8.1. Сточные воды

Сточные воды образуются в результате бытовой и производственной деятельности человека. Их отводят с территории предприятий и жилых массивов канализационной сетью. Они содержат минеральные, органические и биологические загрязнения в твердом, взвешенном и растворенном состояниях.

Минеральные загрязнители – песок, различные шлаки, растворы солей, кислот, щелочей. **Органические загрязнители** – растительные остатки, физиологические выделения людей и животных, жировые пленки, которые могут быть как животного, так и растительного происхождения. **Биологические загрязнители** представлены, как правило, болезнетворными бактериями, возбудителями инфекций, вирусами.

В зависимости от происхождения сточные воды подразделяют на три большие группы – хозяйственно-бытовые, промышленные и животноводческие. Химический состав их разнообразен (табл. 136; Голченко М.Г., Желязко В.И., 1988).

Хозяйственно-бытовые сточные воды – канализационные сточные воды крупных бытовых и коммунальных объектов, городов и поселков. Концентрация содержащихся в них ингредиентов определяется водопотреблением, которое составляет примерно 200–300 л/сут. на человека. Хозяйственно-бытовые сточные воды в большинстве случаев пригодны для орошения сельскохозяйственных культур.

Производственные сточные воды образуются на производственных предприятиях. Их химический состав зависит от вида и технологии производства.

Сточные воды тонкосуконных и суконных фабрик, ковровых комбинатов имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, невысокую концентрацию растворенных веществ (550–350 мг/л), бикарбонатно-сульфатный или бикарбонатно-хлоридный состав. Содержание натрия и кальция в них не превышает 40–70 мг/л. Они характеризуются невысоким содержанием органических веществ и небольшой удобрительной ценностью, поэтому орошение необходимо сочетать с применением значительных норм минеральных удобрений.

Сточные воды крахмальных заводов отличаются повышенной концентрацией взвешенных и растворенных веществ, кислой реакцией. Для снижения кислой реакции среды этих стоков необходима нейтрализация их или проведения известкования. Стоки производств картофельного крахмала богаче элементами питания растений, чем стоки производств кукурузного крахмала. В связи с низким содержанием фосфора в этих стоках необходимо дополнительное внесение фосфорных удобрений.

Сточные воды сахарных заводов характеризуются слабощелочной реакцией (рН 7,5–8,0), относительно невысокой концентрацией растворенных веществ (1,5–2,5 г/л), бикарбонатным составом. Содержание хлоридов и сульфатов невелико. Особенностью этих вод является высокое содержание кальция – 100–350 мг/л. Количество натрия небольшое и обычно не превышает 70–100 мг/л. Воды отличаются относительно низкой удобрительной ценностью.

Таблица 136 – Химический состав сточных вод

Сточные воды	рН	Взве- шен- ные веще- ства	Су- хой оста- ток	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Об- щий азот	P ₂ O ₅	БПК ₅ *
Бытовые	7,2	160	500	350	70	80	55	25	90	15	40	6	60
Городские после биологиче- ской очистки	7,9	14	–	–	83	–	–	–	–	–	20	1–5	9
Стоки текстильной промыш- ленности:													
суконного производства	6,8	186	609	201	109	156	55	21	82	7	30	Следы	150
коврового производства	7,3	113	825	345	139	145	63	23	85	12	35	Следы	214
Стоки крахмальных произ- водств:													
картофельного	4,8	2490	2539	410	98	335	73	07	55	284	106	11	835
кукурузного	5,2	1080	2310	585	100	300	65	60	245	112	86	52	1350
Стоки сахарных заводов:													
неосветленные	8,0	45000	3177	669	87	83	292	63	112	66	41	6	–
осветленные	7,5	839	1611	637	80	157	101	40	102	72	51	3	–
Стоки гидролизных заводов	6,6–5,6	750	3040	592	360	1150	317	63	280	54	158	21	–
Животноводческие стоки:													
свиноводческого ком- плекса	6,2–7,5	2000	2800	2650	180	210	280	130	80	220	1000	190	1500
комплекса крупного рога- того скота	7,2–7,5	5000	6000	4100	370	300	300	350	200	750	1400	190	2000

*БПК₅ – Биологическая потребность в кислороде – количество кислорода (мг), требуемое для окисления за определенное число суток соединений углерода и водорода органических веществ, содержащихся в 1 л сточной воды.

Сточные воды гидролизных заводов имеют слабокислую реакцию, повышенную концентрацию растворенных веществ (2,5–3 г/л), сульфатный характер. В составе солей преобладают соли кальция и натрия. Воды характеризуются высокой удобрительной ценностью, главным образом, по азоту.

Животноводческие сточные воды образуются при гидравлическом способе удаления навоза на комплексах по откорму крупного рогатого скота и свиней. Сточные воды животноводческих комплексов отличаются по составу. Наиболее рационально их использование для орошения и удобрения полей с целью получения кормов для этих же комплексов. На ряде комплексов предусмотрена биологическая очистка животноводческих стоков с последующим сбросом вод в водоемы.

Сточные воды представляют собой ценное удобрение. В 1000 м³ сточных вод содержится столько же азота, сколько в 10–12 т навоза или 150–200 кг минеральных удобрений, а их общий годовой объем в стране достигает 20–21 млрд. м³. Средняя норма орошения сточными водами на сельскохозяйственных полях орошения составляет около 4000 м³/га, что эквивалентно ежегодному внесению 40–50 т/га навоза. Норма сточных вод, подаваемых на единицу удобряемой (орошаемой) площади, должна соответствовать потребности возделываемой культуры в элементах питания и воде. Обычно поливные нормы колеблются от 5 до 20 м³/га в сутки. Такое количество сточных вод создает оптимальные условия и для процессов их обеззараживания и для развития растений.

Различают два вида орошения сточными водами: увлажнительное и удобрительное.

При **увлажнительном орошении** нормы и сроки поливов назначают исходя из водопотребления возделываемых культур. При этом концентрации веществ в поливной воде должны быть близки к растворам, применяемым при водной культуре растений, и так ограничены, чтобы регулярное орошение не оказывало отрицательного влияния на рост и развитие культур, качество урожая и обеспечивало оптимальную подкормку растений и рациональное использование питательных веществ сточных вод.

При **удобрительных поливах**, которые проводят в основном во вневегетационный период, концентрация питательных элементов и органического вещества в поливной воде может быть повышенной. В отдельных случаях применяют удобрительные поливы с использованием высококонцентрированных сточных вод (животноводческие стоки, стоки предприятий пищевой промышленности). Такое зарядковое орошение проводят малыми поливными нормами во вневегетационный период, когда разбавление сточных вод до кондиции их при увлажнительном орошении экономически или технически не оправдано. При этом в летний период целесообразно поливать чистой водой или сточными водами после их разбавления.

Перед использованием на полях орошения сточные воды проходят полную механическую, физико-химическую и биологическую очистку.

Механическую очистку проводят с целью выделения содержащихся в сточных водах нерастворенных загрязнений. К основным сооружениям, обеспечивающим такую очистку, относят решетки, песколовки, отстойники.

Решетки задерживают крупные плавающие предметы и частично взвешенные вещества. Песколовки предназначены для выделения из сточных вод минеральных примесей, отстойники – грубодисперсных примесей. Жиры, смолы, нефтепродукты и другие легкие по сравнению с водой вещества удаляют из сточных вод на специальных сооружениях: жироловках, нефтеловушках и смолуловителях.

Физико-химическая очистка предполагает введение в очищаемые сточные воды различных реагентов, изменяющих реакцию сточных вод, способствующих выпадению в осадок нерастворенных веществ или же переходу растворимых веществ в нерастворимые.

Биологическая очистка основана на жизнедеятельности микроорганизмов, обеспечивающих окислительные процессы и минерализацию органических веществ, содержащихся в сточных водах. В процессе очистки из сточных вод удаляются механические примеси, взвешенные вещества, яйца гельминтов, происходит минерализация органического вещества.

С целью обеззараживания патогенной микрофлоры, содержащейся в сточных водах, они обрабатываются хлором. Степень очистки хозяйственно-бытовых сточных вод по отдельным показателям составляет 67–87 %. После прохождения очистных сооружений сточные воды поступают в пруд-накопитель объемом 5,7 млн. м³, где при хранении происходит их отстаивание и естественная очистка.

Классификация сточных вод по удобрительной ценности приведена в таблице 137 (Голченко М.Г., Желязко В.И., 1988).

Таблица 137 – Классификация сточных вод по удобрительной ценности

Сточные воды	Содержание элементов питания, мг/л			Удобрительная ценность
	N	P	K	
Первая группа				
Крахмалопаточных, гидролизных, биохимических, химико-фармацевтических, масло- и маслосыроваренных, спиртовых заводов	100	30	70	Высокая (необходимо, как правило, разбавление и дополнительное внесение фосфорных удобрений)
Вторая группа				
Сахарных, дрожжевых, консервных заводов и пунктов первичной переработки овощей, заводов по производству минеральных удобрений, пластмасс, предприятий химической промышленности	50–100	10–30	30–70	Средняя (необходимо внесение минеральных и органических удобрений 50%-ной нормой, рекомендуемой для данной зоны при обычном орошении)
Третья группа				
Городов, поселков, текстильной, целлюлозно-бумажной промышленности, предприятий тяжелого машиностроения, ТЭЦ	50	10	30	Низкая (необходимо внесение минеральных и органических удобрений полной нормой, рекомендуемой для зоны при обычном орошении)

Примерные требования к составу сточных вод, используемых для орошения, применительно к основным типам почв приведены в таблице 138 (Голченко М.Г., Желязко В.И., 1988).

Таблица 138 – Требования к качественному составу сточных вод, используемых для орошения различных почв

Агромелиоративный показатель	Почвы					
	дерново-подзолистые	торфяно-глеевые	серые лесные	черноземы	каштановые	сильнозасоленные и солонцы
Сухой остаток, г/л	<4,5	<3,5	<3,5	<2,5	<2,0	<0,6
Минеральные вещества, мг/л	<3,0	<2,0	<2,5	<1,5	<1,2	<0,3
Реакция среды (рН)	6,0–8,5	5,0–7,5	5,5–8,5	5,5–7,5	6,0–7,5	5,0–7,0
Натрий, мг/л	<500	<400	<450	<300	<200	<50
Кальций, мг/л	<750	<600	<650	<500	<450	<200
Калий, мг/л	<150	<150	<125	<100	<75	<100
Хлор, мг/л	<500	<400	<400	<350	<300	<150
Сульфаты, мг/л	<550	<450	<500	<400	<350	<150
Общая щелочность*, мг/л	<1750	<1600	<1650	<1300	<1200	<500
Азот: общий, мг/л	<250	<200	<200	<150	<150	<150
аммонийный, мг/л	<150	<100	<150	<100	<100	<100
Фосфор мг/л	<100	<75	<75	<75	<75	<75
Бихроматная окисляемость, мг О ₂ /л	<2000	<1500	<1800	<1500	<1350	<1100
БПК, мг О ₂ /л	<1600	<1200	<1300	<1250	<850	<550
Специфические вещества органического происхождения, мг/л	<250	<100	<200	<300	<200	<150
Взвешенный осадок, мг/л	<3000	<3000	<3000	<3000	<3000	<3000
Соотношение Na:Ca, ммоль-эк	<3:1	<2,5:1	<3:1	<2:1	<1:1	<0,5

*Дана в пересчете на НСО₃ и включает, кроме НСО₃, анионы слабых кислот органического и неорганического происхождения.

Оценить пригодность сточных вод, содержащих некоторые специфические элементы, для орошения можно, сравнив концентрации входящих в них ингредиентов с предельно допустимыми ПДК (табл. 139; Голченко М.Г., Желязко В.И., 1988).

При рекомендуемых оросительных нормах 1200–5000 м³/га со сточными водами вносится на орошаемые поля от 10 до 39 кг/га азота, от 4 до 16 кг/га фосфора и от 10 до 42 кг/га калия (табл. 140; Аракчеев Ю.И.).

При орошении сточными водами различных сельскохозяйственных культур необходимо дополнительно вносить минеральные и органические удобрения. Расчет норм внесения недостающего количества удобрений производится по выносу питательных веществ с урожаем.

В результате многолетнего орошения сточными водами улучшается гумусное состояние малоплодородных почв, нейтрализуется их кислотность, повышается емкость поглощения и степень насыщения основаниями

Орошение сточными водами создает благоприятные условия для роста и развития растений. Однако несоблюдение режима орошения, использование сточных вод с содержанием вредных примесей выше предельно допустимой концентрации могут привести к отрицательным последствиям.

7.3.8.2. Осадки сточных вод

Большой удобрительной ценностью обладают осадки сточных вод (ОСВ). Рост городского населения, развитие промышленности сопровождаются увеличением водопотребления, а вместе с тем объемов сточных вод и их осадков. В индустриально развитых странах в среднем на одного жителя в год образуется около 19–25 кг сухого осадка сточных вод, или 52 г на человека в сутки. В Российской Федерации с численностью 141 млн. чел., в том числе городского – 101, расчетный среднегодовой объем выхода сухого осадка оценивается ориентировочно в 2,5 млн. т.

На очистных сооружениях городов и крупных населенных пунктов количество осадка составляет обычно 0,5–1,0 % объема очищаемых сточных вод. Свежий осадок, получаемый после механической очистки в первичных отстойниках, имеет влажность 92-95 %. В связи с высокой бактериальной загрязненностью и большой влажностью его обеззараживают, а затем обезвоживают.

Одним из основных методов утилизации осадков служит использование их в качестве удобрения. В среднем в индустриально развитых странах в качестве удобрения используется 32,4 % осадков (табл. 141; Ладонин В.Ф., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. и др., 2002).

Таблица 141 – Производство и использование осадков сточных вод

Страна	Численность населения, млн. чел.	Производство сухого вещества в год, тыс. т	Утилизация, %				
			сельское хозяйство	сбрасывание в отвалы	сжигание	сброс в океан	специфическое использование
Швеция	8,3	210	60	30	–	–	10
Финляндия	4,8	130	40	45	–	–	15
Дания	5,1	130	45	45	10	–	15
Германия	59,7	1950	38	50	8	2	2
Франция	54,2	510	23	46	31	–	–
Бельгия	9,8	22	10	80	10	–	–
Люксембург	0,4	11	90	10	–	–	–
Нидерланды	1,4	201	53	32	3	13	2
Ирландия	3,5	197	4	51	–	45	–
Великобритания	56,1	1240	45	29	3	23	–
Швейцария	6,5	120	70	30	–	–	–
Италия	57,2	800	20	60	–	–	20
США	232,6	3200	25	*	*	*	*

* данные отсутствуют.

В Российской Федерации в качестве удобрения используется лишь 5–7 % осадков сточных вод. Это связано с недостаточным внедрением на очистных сооружениях передовых технологий по их подготовке к использованию в сельском хозяйстве, а также недостаточной информированностью потребителей об удобрительной ценности и особенностях применения.

Основной операцией подготовки ОСВ к использованию является их обеззараживание. В настоящее время на очистных сооружениях используют методы химического, термического и биологического обеззараживания осадков сточных вод.

Химическое обеззараживание ОСВ основано на их обработке фунгицидами. Однако при таком способе подготовки ОСВ получают продукт с влажностью около 60 %, что осложняет его разбрасывание по удобряемому участку. Практический интерес представляет термическое обеззараживание ОСВ, в результате которого образуются термически высушенные осадки сточных вод (ТВО) с влажностью менее 60 %. Обеззараживание осуществляют при температуре 56–58 °С путем сбраживания массы в метантенках, куда подают осадок из первичных отстойников и избыточный активный ил в отношении 1:1.

На городских очистных станциях производительностью до 30 тыс. м³/сут. сточных вод для обеззараживания механически обезвоженных осадков применяют камеры дегельминтизации – установки, в которых осадок под действием газовых инфракрасных горелок нагревается до 60 °С. Осадки сточных вод обезвоживают путем естественной сушки на иловых площадках, реагентным и безреагентным центрифугированием, реагентной вакуум-фильтрацией и фильтр-прессованием. После механического обезвоживания, метанового сбраживания или термической сушки их можно считать обеззараженными от личинок и яиц мух, гельминтов и неспорных микроорганизмов. Для полного обеззараживания яиц гельминтов осадок сточных вод на иловых площадках должен находиться не менее 3 лет с момента последней подачи. ТВО представляют собой обеззараженный, сухой и сыпучий продукт, удобный для хранения, транспортировки и внесения в почву.

В зависимости от технологической схемы обработки, потребителям могут быть переданы для использования в качестве удобрения три вида осадков: жидкие, влажностью 92–97 %; подсушенные или обезвоженные, влажностью 60–80 %; термически высушенные, влажностью 10–40 %.

Химический состав осадков подвержен чрезвычайно значительным колебаниям по содержанию макро-, мезо- и особенно микроэлементов и находится в большой зависимости от технологии производства и состава очищаемых сточных вод (табл. 142; Васильев В.А., Лукьяненок И.И., Минеев В.Г. и др., 1984).

Таблица 142 – Состав осадков сточных вод, % на абсолютно сухое вещество

Осадок	Азот		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	общий	подвижный				
Сброженный	3,07	0,27	2,33	0,210	3,48	–
Сброженный с активным илом	3,93	0,70	3,70	0,180	3,29	0,95
Термически высушенный	1,96	–	3,92	0,007	5,21	5,81

Осадки сточных вод характеризуются высоким содержанием азота, фосфора и кальция, но они бедны калием. Количество органического вещества в сыром осадке достигает 75 % в расчете на сухое вещество. Оно состоит главным образом из протеинов, углеводов, жиров, лигнина и бактерий. В состав осадка входят также микроэлементы: марганец 500–2000 мг/кг сухого вещества, медь – 1000–5000 и цинк – 1200–6000 мг/кг сухого вещества. Зольный состав осадка специфичен и определяется составом промышленных вод. По содержанию тяжелых металлов значительная часть осадков удовлетворяет международным агроэкологическим требованиям (табл. 143; Ладонин В.Ф., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. и др., 2002).

Таблица 143 – Содержание тяжелых металлов в осадках сточных вод, мг/кг сухого вещества

Элемент	Москва	Санкт-Петербург	Щекино	Сочи	ПДК в странах Западной Европы	Директивы ЕЭС	Нормативы РФ по группам	
							I	II
Ag	4–86				10–100		10	20
Hg	0,2–11				6–10	16	7,5	15
Pb	20–325	100		27	300–900	750	250	500
Cd	8–175	60	0,9	6	8–15	20	15	30
Ni	32–880	220	10	<100	26–500	300	200	400
Cr	265–4700	910	2		40–1000	750	500	1000
Mn	50–1860	305		810	500		-	-
Zn	560–7900	1450	51	1662	2000–10000	2500	1750	3500
Cu	69–1740	1250	3	381	300–3000	1000	750	1500

Осадок, предназначенный для использования в качестве удобрения, должен содержать не менее 40 % органического вещества, 1,6 – азота (N), 0,6 – фосфора (P_2O_5), 0,2 % – калия (K_2O) и иметь влажность не более 82 %.

Компостирование с осадками сточных вод. В целях ускорения процесса дегельминтизации осадков готовят компосты. При использовании в качестве наполнителей твердых бытовых отходов и опилок соотношение наполнитель-осадок берется соответственно равным от 0,5:1 до 1–1,5:1 в летнее время и от 1:1 до 2–3:1 в зимнее. Для компостирования с осадком пригодны все виды торфа. Компост с торфом готовят в любое время года. Соотношение осадка и торфа зависит от качества последнего и времени закладки компоста. В зимнее время для лучшего разогревания компоста относительное содержание торфа увеличивают, соотношение 2–1,5:1. При весенне-летнем приготовлении компоста это соотношение 1,5–1:1. Качество компоста повышается при добавлении в смесь торф-осадок извести из расчета 15–20 кг/т компоста. Срок созревания компостов 1,5–2 месяца в летнее время и 3–4 месяца зимой. Конец компостирования определяют по отсутствию яиц гельминтов в образцах компостов, отобранных с глубины 0,5 м. Правильно приготовленные компосты без добавок минеральных удобрений при pH 6,7–7,0 в расчете на сухое вещество должны содержать не менее 50 % органического вещества, 1,8–2,0 – $N_{\text{общ}}$, 1,0–1,2 – $P_2O_5_{\text{общ}}$ и 0,2–0,5 % K_2O .

Осадки и компосты в первую очередь следует применять в пригородных хозяйствах, прилегающих к очистным станциям. При этом необходимо учитывать наличие в них токсических веществ.

Оптимальный срок внесения удобрений на основе осадков сточных вод – осенний под основную обработку, а также летний – при обработке паровых и других раноосвобождающихся полей севооборота. При этом в период осенних осадков и весеннего снеготаяния происходит вымывание из корнеобитаемого слоя входящих в их состав легкорастворимых соединений, особенно хлора. На слабо- и среднекультуренных дерново-подзолистых почвах удобрения следует применять в нормах 10–15 т/га по сухому веществу, на окультуренных дерново-подзолистых почвах супесчаных и черноземах – 5–10 т/га. ОСВ применяют совместно с минеральными удобрениями (табл. 144; Касатиков В.А., Хохлов В.И., 1988).

Таблица 144 – Нормы минеральных удобрений при совместном внесении с осадком сточных вод под сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, кг/га

Культура	N при окультуренности почвы			P ₂ O ₅ при содержании в почве, мг/100 г			K ₂ O при содержании в почве, мг/100 г		
	хорошей	средней	слабой	15–25	10–15	5–10	17–25	8–17	4–8
ОСВ 5-10 т/га									
Картофель	50–60	80–90	120–130	–	25–30	40–45	60–70	90–100	140–150
Озимая пшеница	40–50	60–70	90–100	15–20	25–30	40–45	50–60	80–90	110–120
Озимая рожь	30–40	60–70	90–100	15–20	25–30	40–45	50–60	80–90	110–120
Кормовая свекла	80–90	110–120	130–140	15–20	25–30	40–45	60–70	90–110	120–130
Лен	50–60	60–70	70–80	15–20	25–30	40–45	60–70	90–120	140–160
Яровые зерновые + травы	30–40	60–70	90–100	15–20	25–30	40–45	50–60	70–80	90–100
Многолетние злаковые и бобовые травосмеси	20–30	30–40	40–50	15–20	25–30	35–40	50–60	80–90	110–120
ОСВ 10-20 т/га									
Картофель	35–40	65–70	95–100	–	20–25	30–35	50–60	80–90	120–130
Озимая пшеница	30–35	45–50	70–80	–	15–20	20–25	45–50	70–80	90–100
Озимая рожь	25–30	45–50	70–80	–	15–20	20–25	45–50	70–80	90–100
Кормовая свекла	60–70	70–80	100–110	–	15–20	20–25	50–60	70–80	95–110
Лен	30–40	45–50	60–70	10–15	15–20	35–40	50–60	90–100	120–130
Яровые зерновые + травы	25–30	45–50	70–80	–	15–20	20–25	45–50	70–80	80–90
Многолетние злаковые и бобовые травосмеси	–	–	–	–	15–20	20–25	45–50	70–80	90–100

Примечание. При использовании осадка, обеззараженного аммиаком, азотные удобрения не вносят. Фосфорные удобрения вносят в рядки при посеве или посадке.

Содержание элементов питания растений и рекомендуемые нормы внесения промышленных отходов в почву приведены в таблице 145 (Васильев В.А., Филиппова Н.В., 1988).

Таблица 145 – Состав и нормы внесения промышленных отходов

Вид отхода	Содержание, %				Вид удобрения	Норма, т/га
	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Отходы, требующие компостирования						
Каныга	85–50	0,3	00,9	0,40	полное	20–40
Отходы от пера и пуха	85–50	6,7	–	–	азотное	4*
Шелуха семян масличных культур	85–50	0,7	0,3	–	"	30*
Клюквенный жмых	воздушно-сухой	1,1	–	–	"	20*
Яблочный жмых	"	1,6	–	–	"	15*
Вьязмки из винограда	воздушно-сухие	0,8	–	–	"	25*
Винные осадки	"	3,9	0,8	3,80	азотно-калийное	8*
Отходы, требующие заблаговременного внесения в почву						
Мякоть и мезга сырая	воздушно-сухая	0,2	0,3	0,07	азотно-фосфорное	20
Шрот из виноградных зерен	воздушно-сухой	11,7	0,2	–	в основном азотное	3–6
Шерстяные отходы и шерстяная пыль	воздушно-сухие	88,0	–	–	азотное	1–2
Подметы шерстяных цехов	"	33,7	–	–	"	2–4
Срезы от фетровых изделий	"	88,0	–	–	"	0,6–1,2
Отходы щетинных фабрик	"	22,7	–	–	"	2–4
Отходы, пригодные для удобрения без ограничений						
Шлям: свиной	92,2	0,8	–	–	азотное	6–12
говяжий	86,2	1,6	–	–	"	3–6
сухой	воздушно-сухой	11,7	–	–	"	0,4–0,8
Рыбные отходы сырые	–	2,5	2	–	азотно-фосфорное	6–12
Отходы клейтукового производства	61	1,9	–	–	азотное	2,5–5,0
Мездра	сырая	2,0	–	–	"	2–4
	воздушно-сухая	6,0	0,3	–	в основном азотное	0,7–1,5
Роговая стружка	воздушно-сухая	14,0	1,0	–	"	0,3–0,6
Галалитовая стружка	"	12,6	3,1	–	"	0,4–0,8
Шелковичная куколка	"	12,1	2,3	–	"	0,4–0,8
Шелковый пух	воздушно-сухой	11,7	–	–	азотное	0,4–0,8
Экскременты шелковичных червей	воздушно-сухие	2,8	0,5	33,2	полное	2–4
Табачная пыль	8,4	2,4	0,4	33,0	азотно-калийное и частично фосфорное	2–4
Махорочная пыль	11,0	2,6	0,9	22,5	"	2–4
Табачные листья после извлечения никотина	43,9	1,9	–	–	азотное	3–6
Клещевинный шрот	воздушно-сухой	7,1	2,2	11,2	полное	0,6–1,2
Жмых: клещевинный	воздушно-сухой	5,7	1,7	11,0	полное	0,7–1,4
хлопковый	"	7,4	2,6	11,5	"	0,6–1,2
рыжиковый	"	4,5	2,0	11,2	"	1–2
рапсовый	"	5,1	2,1	11,2	"	1–2
сурепный	"	4,6	2,6	–	"	1–2

Обязательное условие использования осадков сточных вод и компостов в качестве удобрения – соблюдение требований охраны окружающей среды. Их следует применять на ровных участках, не подверженных водной эрозии, с уровнем грунтовых вод не выше 40 см от поверхности почвы. При внесении удобрений на мелиорированных площадях вдоль магистральных каналов следует оставлять защитные полосы шириной не менее 30 м.

7.3.8.3. Промышленные и бытовые отходы

Промышленные отходы. Некоторые из органических отходов промышленности могут быть использованы на удобрение. Правильное их использование имеет двоякое значение: 1) повышаются урожаи сельскохозяйственных культур; 2) промышленное производство становится более экономичным и избавляется от необходимости специальных затрат на удаление и обезвреживание накапливающихся на их территории масс отходов.

Все органические отходы промышленности, используемые на удобрения, разделяются на три группы:

1. **Отходы, требующие компостирования.** К этой группе относятся отходы, опасные в санитарно-гельминтологическом, энтомологическом и фитосанитарном отношении. В эту группу входят отходы пера, пуха, шелуха семян масличных культур, клюквенный и яблочный жмыхи, выжимки из винограда, винные осадки.

2. **Отходы, требующие заблаговременного внесения в почву.** К числу этих отходов относится мякоть и мезга, шрот из виноградных зерен, отходы щетинных фабрик, подметы шерстяных цехов, срезы от фетровых изделий, шерстяные отходы и шерстяная пыль. Как правило, это отходы с широким отношением углерода к аммонийному азоту (C:N-NH₄). При непосредственном внесении их в почву перед посевом наблюдается временное биологическое закрепление доступного азота почвы микроорганизмами, что приводит к азотному голоданию растений и даже снижению урожайности. Поэтому их применяют задолго до посева – под основную обработку почвы, а перед посевом вносят в почву азотные удобрения.

3. **Отходы, пригодные для удобрения без ограничений.** Это свиной и говяжий шлам, сырые рыбные отходы, мездра, отходы клейтукового производства, роговая и галалитовая стружка, шелковичная куколка, шелковый пух, экскременты шелковичных червей, табачная и махорочная пыль, табачные листья после извлечения никотина, клещевинный шрот, клещевинный, хлопковый, рыжиковый, рапсовый, сурепный жмых.

Максимальные нормы промышленных отходов, рассчитанные на внесение в почву, как правило, содержат 80–100 кг общего азота. Удобрения до 6 т/га можно внести навозоразбрасывателями или в виде добавок к навозу и компостам.

Древесная кора и опилки. Большую удобрительную ценность имеет древесная кора, составляющая от 10 до 20 % от общего объема дерева и в больших количествах скапливающаяся в зоне деятельности деревообрабатывающих комбинатов. Кору деревьев и опилки применяют для мульчирования и удобрения почвы, приготовления искусственного грунта для теплично-парниковых хозяйств, в качестве подстилки на птицефермах и птицефабриках с последующим использованием ее в качестве удобрения.

Запасы одной только древесной зелени в Российской Федерации превышают 20 млн. т в год, а используется из них не более 10 %. Древесная кора содержит все основные элементы питания, которые в процессе ее минерали-

зации становятся доступными для растений. Она обладает хорошим гумусообразующим потенциалом, в процессе ее минерализации выделяется диоксид углерода, улучшая тем самым углеродное питание растений. Кроме того, древесная кора богата целлюлозой (33–35%), лигнином (22–30%) и содержит 5,3–12 мг/100 г калия и незначительные количества фосфора. Прочность, упругость, высокая фильтрационная способность коры улучшают водно-физические свойства почвы, а ее трудноразлагаемая часть обогащает почву лигнином и дубильными веществами, необходимыми для гумусообразования. Недостаток коры как удобрения в том, что она практически не содержит усвояемого растениями азота. Отношение углерода к азоту очень широкое – 140:1. Зольность сосновой коры 2,8 %, еловой – от 3,1 до 5,85 %. Кислотность – варьирует в пределах рН 4,8–5,7. Кора биологически активна. В ней обнаружено значительное количество бактерий и плесневых грибов.

Древесную кору запахивают в почву на небольшую глубину. При внесении 125 м³/га коры структура почвы значительно улучшается, возрастает ее влагоемкость. При использовании некомпостированной коры необходимо внесение азотных удобрений, т. к. при высоком содержании углерода она содержит мало азота, необходимого для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов, способствующих разложению коры. При измельчении коры хвойных пород до 5 см период ее разложения составляет около 2 лет.

Одно из перспективных направлений утилизации древесной коры – компостирование ее с минеральными и органическими добавками и использование в сельском хозяйстве в качестве удобрений, биотоплива, мульчи и субстратов в защищенном грунте.

Технологическая схема производства компостов на основе коры осуществляется в следующей последовательности: измельчение коры до частиц размером 5–10 мм; внесение добавок, стимулирующих ее разложение; подача полученной смеси на площадку; отсыпка смеси в штабеля; созревание компоста. Измельченная древесная кора, предназначенная для компостирования, должна иметь влажность 65–75 %, примесь древесины не более 15 % по массе, содержать частицы размером 10–40 мм в количестве не более 40 % по массе, не допускается присутствие частиц размером более 40 мм, загрязнение минеральными маслами, мазутом, пропиточными веществами, наличие металлических примесей.

Соотношение древесной коры и органического удобрения при компостировании обычно составляет 1:1; 2:1 или 3:2, могут также добавляться фосфоритная мука и хлористый калий, обогащающие компост элементами питания и ускоряющие его созревание. В качестве органического удобрения для компостов применяют подстилочный и бесподстилочный навоз, птичий помет.

Основные способы приготовления компостов: послойный, очаговый, площадочный.

Благоприятные условия компостирования коры создаются при формировании буртов шириной в основании 3,0–4,0 м, высотой 1,5–2 м и длиной не менее 4,0 м. При компостировании в зимнее время, во избежание промерзания, высота штабеля может быть увеличена до 2–5 м, длина не менее 10 м. Оптимальная масса штабеля 100–120 т (при массе менее 60 т штабель промерзает); температура в период компостирования 40–60 °С.

Готовый компост должен содержать не менее 80 % органического вещества на сухую массу при влажности не более 60 %, 10–15 % от общего количества органического вещества гуминовых веществ, рН водной вытяжки – не менее 5,5, отношение С:N – не более 30, азота, фосфора и калия – соответ-

ственно 3,0, 0,1 и 0,1 % сухой массы. Компост имеет плотность 0,18–0,3 г/см³, комковатую структуру и влагоемкость 250–350 г воды на 100 г сухого вещества. Благодаря высокому содержанию кальция, он является ценным мелиорантом для кислых почв. Компост из древесной коры не только улучшает рост растений, но и уменьшает заболеваемость корневой гнилью и почти полностью подавляет развитие нематод.

Использование компостов на основе древесной коры может в значительной степени решить проблему обеспечения тепличных и парниковых хозяйств высококачественными грунтами.

Аналогичное применение находят в сельском хозяйстве опилки. Все виды опилок улучшают физические свойства почв, повышают их порозность и водоудерживающую способность, снижают плотность тяжелых глинистых почв. Как и древесная кора, опилки содержат мало азота и наиболее целесообразно их компостировать с азотными удобрениями.

Гидролизный лигнин – это основной отход гидролизной промышленности, составляющий до 40 % от массы исходного сырья. Выгружаемый из гидролиз-аппарата, он в значительной части сохраняет форму частичек исходного сырья, но имеет темно-бурую окраску. По химическому составу гидролизный лигнин представляет собой комплекс веществ, основная масса которых состоит из продуктов конденсации и полимеризации природного лигнина. Здесь присутствуют также негидролизуемые полисахариды, неотмытые сахара, гуминовые вещества, органические кислоты, серная кислота и зольные элементы. Из них первые два – собственно лигнин и полисахариды – составляют 84–91 % от всей массы гидролизного лигнина. На долю полисахаридов приходится 24–45 %, а лигнина как такового – 39–70 %. Лигнин имеет кислую реакцию, а влажность его составляет 63–75 % (табл. 146; Цуркан М.А., Руссу А.П., 1980).

Таблица 146 – Агрохимические показатели гидролизного лигнина (в пересчете на сухое вещество)

Показатель	Гидролизный лигнин	Гидролизный шлам
Влажность, %	63,1–75,1	61,9–89,6
Зольность, %	3,5–14,7	4,2–72,5
Углерод общий, %	42,9–50,8	12,5–53,0
Углерод гуминовых кислот, %	3,4–6,4	5,2–18,4
Углерод фульвокислот, %	3,7–7,7	3,0–6,4
Азот общий, %	0,34–0,54	0,62–2,32
Азот нитратный, мг/100 г	0,1–0,7	0,5–2,5
Азот аммонийный, мг/100 г	2,2–7,6	133–389
Азот легкогидролизуемый, мг/100 г	40–79	183–1470
Фосфор общий, % P ₂ O ₅	0,01–0,16	0,39–2,46
Калий общий, % K ₂ O	0,01–0,22	0,14–0,33
Кальций общий, % CaO	0,20–1,19	0,16–4,07
Сера общая, % SO ₄	0,41–2,23	0,64–9,28
pH _{вод}	1,9–4,7	3,0–4,6

Среди элементов минерального питания растений большой удельный вес в гидролизном лигнине занимают сера и кальций. Фосфора и калия содержится в среднем 0,06 и 0,09 % сухого вещества соответственно. Содержание общего азота в гидролизном лигнине невысокое – 0,34–0,39 % и только 14 % от об-

шего его количества составляет легкогидролизуемая фракция. Отношение С:N очень широкое (75–117).

Возврат органического вещества лигнина в биологический круговорот, борьба с загрязнением окружающей среды, увеличение производства местных удобрений, – все это обуславливает необходимость и целесообразность переработки лигнина в удобрение.

Трудность использования лигнина, как удобрения связана с его кислотностью и низким содержанием азота, фосфора, калия. Вместе с тем он обладает и положительными качествами: улучшает воздухопроницаемость, пористость, структуру и другие физико-химические свойства почвы. Особо следует отметить способность его адсорбировать азот легкоподвижных азотсодержащих удобрений и вступать с ним в химическую связь, поэтому вымывание азота из верхних слоев почвы сокращается, а коэффициент его использования растениями – увеличивается.

Разработан промышленный способ приготовления удобрений путем компостирования лигнина с минеральными удобрениями и обработки компоста водным раствором аммиака перед внесением в почву. Для приготовления компостов лигнин предварительно нейтрализуют доломитовой мукой из расчета 30–35 кг на одну тонну удобрения. Наиболее эффективны лигнонавозные компосты при соотношении навоза и лигнина 1:1. Для приготовления 100 т такого компоста требуется 48,2–48,5 т лигнина влажностью 60 %, 1,5–1,75 т доломитовой муки и 50 т навоза. Для ускорения созревания компоста бурты делают высотой не более 1,5 м, а компосты хорошо перемешивают. В расчете на сырую массу компост содержит: N – 0,36 %, P₂O₅ – 0,32, K₂O – 0,34 %, pH 5,7. Хорошо приготовленный лигнонавозный компост по эффективности не уступает торфонавозному.

На основе лигнина получают также биологически активные ростовые вещества, которые применяют в чистом виде как стимуляторы роста растений или служат для приготовления удобрений.

Бытовые отходы составляют 0,15–0,25 т/год на одного жителя России. Эти отходы, как правило, на 30–40 % состоят из органических пищевых компонентов и 20–30 % бумаги. Химический состав бытовых отходов довольно широко изменяется. В среднем они содержат 40–70 % органических веществ, 28–30 % золы, 23–37 % углерода, 0,75–1,15 – азота и 2,0–5,5 % кальция.

Бытовые отходы имеют высокую степень биологического загрязнения, могут быть опасны в эпидемиологическом отношении и требуют обеззараживания. Эта проблема решается тремя способами: обеззараживанием на свалках, сжиганием, биотермическим обеззараживанием при производстве компостов на заводских установках.

Обеззараживание мусора путем длительного компостирования на свалках хотя и является наиболее распространенным способом, однако санитарная служба считает его неперспективным из-за зловония и опасности распространения инфекций и инвазий. Обеззараженный на свалках прокомпостированный мусор без удаления примесей непригоден для удобрения, так как применение его приводит к сильному засорению полей металлом, битым стеклом, кирпичом, пластиком, полиэтиленовой пленкой и другими отходами.

Более совершенным способом обеззараживания и переработки бытовых отходов по сравнению с обеззараживанием на городских полигонах является полевое компостирование. Однако полевым компостированием нельзя переработать весь мусор крупных городов.

В настоящее время на практике наибольшее распространение получают промышленные методы биотермического обеззараживания и переработки в компост и биотопливо бытовых отходов.

Бытовые отходы доставляют на завод в контейнерных мусоровозах и разгружают в два бункера-накопителя полезной емкостью по 900 м³ и глубиной 10 м. Грейферным краном грузоподъемностью 5 т отходы подают из приемного бункера в дозирующие бункера и на конвейеры. Черные металлы из отходов извлекаются электромагнитными ленточными сепараторами. Частота вращения барабанов составляет 0,1–1,14 об/мин. В барабаны подают воздух и воду с температурой не менее +40°С. Мусор самосогревается до 60–70°С. Обеззараживание происходит за трое суток.

Полученный компост содержит 40–52 % от сухой массы органических веществ, 1,0–1,3 – азота, 0,8–0,7 – фосфора и 0,4–0,6 % калия. Допускается присутствие в компосте не более 3 % стекла с размером частиц не более 15 мм и 4 % посторонних включений. Влажность компоста составляет 30–40%, рН – 7,8.

Промышленный компост из твердых бытовых отходов вносят под плодовые культуры в количестве 50–150 т/га, виноград – 20, зерновые – 20–50, подсолнечник, кукурузу, – 30–100 т/га. В среднем прибавка урожайности от их применения в зависимости от культуры, почвы и других условий колеблется в пределах 10–50 %. Компост безопасен в санитарно-гигиеническом, гельминтологическом и энтомологическом отношении. Действие компоста на урожайность сельскохозяйственных культур близко к действию навоза. Осеннее внесение их целесообразнее весеннего. Из-за высокого содержания в компосте свинца и цинка применять компосты из твердых бытовых отходов для удобрения овощных культур запрещается.

7.3.9. Биогумус

7.3.9.1. Роль червей в формировании и воспроизводстве плодородия почв

Еще земледельцы Древнего Египта видели в дождевых червях залог будущих урожаев. Аристотель называл их "кишечником земли". Чарльз Дарвин (1886) в одном из первых своих научных докладов "Об образовании почвенного слоя" изложил теорию, согласно которой весь плодородный слой нашей планеты уже побывал внутри червей и не один раз. Он писал: – "Плуг принадлежит к числу древнейших и имеющих наибольшее значение изобретений человека; но еще задолго до изобретения почва правильно обрабатывалась червями... Весьма сомнительно, чтобы нашлись еще другие животные, которые в истории земной коры заняли бы столь видное место".

Крестьянин издавна знал, что по наличию дождевых червей в почве, их состоянию и активности легко определить ее плодородие. Так, если черви были ярко-красного цвета, активные и жирные, распухшие, то это было признаком того, что почва высокоплодородна, и можно рассчитывать на хороший урожай. Если же дождевых червей в почве было мало, и они были бледного цвета, малоподвижны, то следовало принимать меры по внесению навоза и других органических удобрений. Таким образом, ничего не ведая об агрохимических анализах почвы, наличии в ней питательных веществ, земледелец по состоянию червей определял ее способность к формированию урожая возделываемых сельскохозяйственных культур. Дождевые черви служили своеобразными анализаторами почвы.

Дождевые черви – крупные беспозвоночные почвенные животные – сапрофаги, питающиеся растительными остатками. Только на территории России их насчитывается около 100 видов. Питаются черви в основном мертвыми разлагающимися растительными остатками, а вместе с ними поглощают и бактерии, водоросли, грибы и их споры, простейших и нематод. Переваривая их, черви выделяют с копролитами (*копрос* – испражнение, *литос* – камень) большое количество собственной кишечной микрофлоры, ферментов, витаминов, биологически активных веществ, которые обладают антибиотическими свойствами и препятствуют развитию патогенной микрофлоры, гнилостных процессов, выделению зловонных газов, обеззараживают почву и придают ей приятный запах земли.

Черви играют важную роль как стимуляторы деятельности микроорганизмов. Экскременты червей (копролиты) становятся центром бурного размножения микрофлоры. Даже непродолжительное пребывание червей в почве вызывает интенсификацию развития почвенной микрофлоры и обусловленного ею процесса гумификации. В процессе переваривания органического вещества в кишечнике червей формируются гумусовые вещества, так как здесь происходят процессы полимеризации продуктов распада органических веществ и формируются молекулы гуминовых кислот. Эти молекулы вступают в комплексные соединения с минеральными компонентами (прежде всего с биогенным кальцием), и последние весьма долго сохраняются в виде стойких образований. Гумусовые вещества, формируемые в кишечнике червей, по химическому составу близки к гумусу, образуемому в почве микрофлорой.

Работа, осуществляемая миллиардами дождевых червей в почве, огромна. Одна только мышечная их работа очень благоприятно сказывается на плодородии почвы. С неутомимой энергией они прорывают в ней миниатюрные каналы и целые галереи, образующие разветвленную дренажную и вентиляционную систему в слое глубиной около 30 см. Эти каналы способствуют процессу разветвления корней, прониканию их в более глубокие слои. Ходы червей идут в разных направлениях и под любым углом к горизонту.

Уникальное свойство дождевых червей – оструктурирование почвы. Большое значение в способности червей улучшать структуру почвы имеет деятельность железистых клеток, выделяющих большое количество слизистых веществ. Слизистые выделения увеличивают легкость скольжения червей по субстрату, предохраняют тело от высыхания и, кроме того, они покрывают стенки ходов червей внутри почвы, что придает им значительную прочность по сравнению со случайными трещинами в почве. Такой "дренаж" имеет важное значение для эффективного плодородия почвы.

Сеть ходов, которая может составить 4–7 тыс. км/га, увеличивает площадь соприкосновения почвы с воздухом, что обеспечивает проникновение кислорода и воды в глубокие слои грунта. За летний период популяция из 50 червей в пахотном слое почвы на 1 м² прокладывает километр ходов и выделяет на поверхность копролиты слоем 3 мм. Еще больше их остается в толще почвы.

Таким образом, современная наука свидетельствует о том, что деятельность дождевых червей – существенный фактор почвенного плодородия. Самым очевидным признаком здоровья почвы является наличие в ней дождевых червей.

Массовое применение в сельском хозяйстве химических удобрений, гербицидов, инсектицидов, фунгицидов, ретардантов, дефолиантов, десикантов и других подобных им веществ стало причиной нарушения в почве сложившейся веками сложной системы саморегулирующихся процессов образования гумуса и его минерализации. Пестициды губительно действуют на поч-

венные организмы, в том числе и дождевых червей, вызывая их гибель. В связи с этим в последние десятилетия их численность в почве значительно сократилась, что отрицательно сказывается на ее плодородии.

Условия обитания червей. В естественных условиях обитания видовой состав и численность дождевых червей зависят от типа почвы. На пастбищах в суглинках, легких суглинистых и супесчаных почвах численность их на 1 м² максимальная – до 450 особей, в глинистых меньше – до 230 особей на 1 м². Наименьшая численность дождевых червей, как правило, наблюдается в кислых почвах – 25 особей на 1 м². На 1 га хорошо ухоженных лугов или пастбищ их биомасса может достигать 2–5 т/га, что почти в 100 раз превышает биомассу наземных животных на данной площади.

Очень велика потребность дождевых червей в азотсодержащей органике, что определяет пространственную локализацию и уровень плотности их популяций в разных местностях. В богатом азотом субстрате темпы индивидуального роста и плодовитость червей резко увеличиваются. Оптимальной для их роста является нейтральная реакция среды. При снижении показателя pH до 5 или повышении до 9 черви погибают в течение недели. Минеральные удобрения способствуют подкислению почвы, а при высокой кислотности дождевые черви снижают свою активность. С другой стороны, в результате своей жизнедеятельности в почве они способствуют нейтрализации почвенного раствора. Одновременное внесение больших доз минеральных удобрений может создать условия для появления в почвенном растворе высокой концентрации солей, которая губительно действует на дождевых червей. Концентрация растворимых солей выше 0,5 % смертельна для них.

В умеренных широтах период активной деятельности червей продолжается 6,5–7 месяцев. С приближением зимы, как правило, уже при температуре почвы +5°C черви освобождают кишечник, уходят в глубокие ее слои и впадают в состояние зимнего покоя – "спячку". Черви возобновляют свою активность за 10–15 дней до исчезновения мерзлого слоя, а иногда даже и во время зимних оттепелей.

Дождевые черви очень плодовиты. Каждая половозрелая особь навозных червей откладывает за летний период по 18–24 коконов. В каждом коконе находится 1–21 яйца, из которых через 2–3 недели вылупляются новые особи, достигающие половой зрелости через 7–12 недель.

У дождевых червей имеется много врагов. Они не имеют никаких органов защиты, любое животное может нанести им ущерб или убить их. Наиболее опасными врагами дождевых червей являются птицы, кроты, землеройки, крысы, лягушки, жабы. Самый большой урон популяции червей может нанести крот. За несколько месяцев он может их практически полностью истребить. Бороться с врагами дождевых червей нужно исключительно механическими методами, поскольку использование против них химических средств в конечном счете погубит и червей.

Технология вермикультивирования. Вермикультура (от лат. *vermes* – черви) – разведение дождевых червей с целью переработки органических отходов, получения органического удобрения (биогумуса или вермикомпоста), а также биологической массы самих червей.

В зависимости от масштабов и технологии производства биогумуса способы вермикультивирования можно разделить на два вида: экстенсивный и интенсивный. Интенсивный способ разведения дождевых червей осуществляется в закрытых помещениях, а экстенсивный – на открытых площадках.

Овладеть немногочисленными технологическими приемами биологического производства нетрудно. Способы вермикультивирования различаются в зависимости от вида и количества перерабатываемых отходов. Принципиальных различий между ними практически нет – в целом все определяется масштабом производства вермикомпоста или биогумуса.

Культивирование червей на приусадебном участке. Культивирование (размножение) червей на приусадебном участке позволяет практически все органические отходы, образующиеся в результате функционирования хозяйства, перерабатывать в органическое удобрение – биогумус. Его применение позволит значительно повысить продуктивность использования приусадебных земель – сада и огорода – без внесения дорогостоящих промышленных туков. Для успешного разведения дождевых червей необходимо соблюдение некоторых элементов технологии их культивирования.

Приготовление субстрата, заготовка корма для червей. Органические отходы, предназначенные для переработки червем, готовятся по особой технологии, главным из которой является биотермический процесс. Свежий навоз крупного рогатого скота и свиней, птичий помет для подкормки червей непригодны из-за наличия в них продуктов, ядовитых для червей: аммиака, мочевой кислоты, мочевины.

При подготовке субстрата для червей необходимо предварительное компостирование органических материалов (навоз, листья, сорняки, бумага, опилки лиственных пород деревьев, пищевые отходы), причем этот процесс предпочтительнее должен осуществляться в буртах, а не в компостных ямах, поскольку для жизнедеятельности червей необходима достаточная аэрация. При ведении вермикюльтуры в ямах их глубина не должна превышать 60 см. Бурт может достигать высоты 1,5–2 м, укладывается он обычно в виде пирамиды. Бесподстилочный навоз, птичий помет при компостировании необходимо перемешать с соломой, опилками и другими наполнителями в соотношении 1:1 в расчете на сухую массу.

Подавая корм соответствующего химического состава, который дождевой червь перерабатывает, можно влиять на химический состав получаемого биогумуса. При закладке бурта в компостируемую массу можно внести комплексные химические удобрения в небольших количествах, равномерно их распределив по поверхности бурта. В частности, на 1 т компостируемых материалов добавляют 2–3 кг двойного суперфосфата, 1 – сульфата калия, 2–3 – сульфата аммония, 1 кг сульфата магния, 60 г борной кислоты, 3–5 кг молотого гипса. Вместо молотого гипса можно использовать мел, известь или доломитовую муку.

Компостируемую массу необходимо хорошо увлажнить (до 60 % влажности). Для предотвращения потерь тепла и обеспечения условий протекания биотермических процессов в поверхностных слоях смеси бурты лучше укрывать готовым компостом толщиной 10–20 см в летний период и 30–40 см – в зимний. Компостируемая масса начинает разогреваться, и через 5–7 сут. летом температура внутри бурта достигает 50–60°C и выше, что позволяет частично уничтожить семена сорняков, яйца гельминтов, патогенную микрофлору, нематоду.

Основной критерий пригодности компоста для скармливания червям – отсутствие в нем запаха аммиака, его концентрация не должна превышать 0,5 мг/кг. Для ускорения процесса компостирования рекомендуется использовать вместо воды при увлажнении бурта водный экстракт из готового компоста или гумусного удобрения. Экстракт содержит необходимую микробную смесь, что позволяет добиться созревания компоста на 10 сут. раньше. Бурт необходимо через каждые

2–4 недели увлажнять. Созревший компост хранится в бурте и расходуется на корм червям по мере необходимости в течение 2–3 месяцев.

Приготовление компостов на открытых площадках проводят при температуре наружного воздуха не ниже -5°C . Процесс компостирования в хорошо укрытых буртах продолжается и в зимнее время. Компост, заложенный поздней осенью, созреет и будет готов уже ранней весной.

Способы получения технологических червей. В природе существует около 8 тысяч видов червей, однако для промышленного разведения и содержания подходят единицы. В 1959 г. американскими исследователями в университете штата Калифорния во главе с врачом Барретом в результате гибридизации различных пород дождевого червя удалось вывести новую разновидность с коммерческим названием "Калифорнийский красный гибрид". Взрослая особь нового вида червя – темно-красного цвета, достигает в длину 8–9 см, в диаметре 3–5 мм, живет до 16 лет ("дикие" – значительно меньше), масса – 0,8–1,0 г, температура тела – $+19$ – 20°C , пищу всасывает губным беззубым отверстием, кормом служит практически любое органическое вещество. Гибрид красного червя потребляет в день кормов столько, сколько примерно весит сам, около 1 г.

Красный червь – анемид-гермафродит (имеет органы размножения самки и самца, но для оплодотворения нужен партнер). Оплодотворение в хороших условиях содержания происходит каждые семь суток. Из капсулы с 2–20 яйцами через 14–20 сут. появляются молодые черви, которые, в свою очередь, достигают половой зрелости примерно через 90 сут. Популяцию червей можно увеличить за год примерно в 1,5 тыс. раз.

В России первый технологически приемлемый штамм компостных червей был получен в результате селекционной работы в 80-х гг. XX столетия, который практически не уступал по основным признакам красному калифорнийскому гибриду. Нашими соотечественниками установлено, что технологических червей для промышленной переработки любых органических отходов можно получать из местных диких популяций в любой сельскохозяйственной местности. Это важно для нашей страны, поскольку для организации производства биогумуса не обязательно закупать готовых технологических червей, а постепенно одомашнить местные дикие виды. Следовательно, наиболее приемлемо разводить своих домашних технологических червей, которые будут приспособлены к местному климату и пестицидам.

Для переработки большого количества органических отходов предприятия обязательно должны создавать свою популяцию технологических червей, приспособленную для потребления именно этого вида отходов. Для этого нужно найти колонию червей вокруг источника этих отходов и пересадить ее в культиватор. Наиболее простым и доступным источником червей являются старые навозные кучи вокруг крестьянских дворов, животноводческих ферм любого типа, старые свалки органического мусора. Если на земельном участке не были использованы ядохимикаты для борьбы с вредителями, то при перекопке грядок весной черви встречаются в достаточном количестве в этой почве. Червей надо собрать в емкость вместе с той землей или органикой, в которой они живут. Для червятника достаточно 500–1500 особей на один квадратный метр культиватора.

При освоении вермикультуры существуют некоторые особенности, учет которых необходим для успешного разведения дождевых червей. В частности, продажа технологических червей из одного региона в другой сопряжена с риском, обусловленным различием спектра используемых пестицидов в той или иной местности. Черви, приспособленные к потреблению корма с одним

набором пестицидов, могут погибнуть или долго болеть, потребляя такой же корм, но с другим набором пестицидов. Другой особенностью технологических червей является их приверженность к питанию субстратом определенной рецептуры. Черви всегда болезненно переносят замену одного субстрата другим, что сопровождается их гибелью или резким снижением продуктивности. Особенно остро такая проблема возникает при заселении червями совсем чужеродного субстрата. Его заселение возможно только коконами будущих технологических червей. Молодые черви, появляющиеся из коконов, с первым глотком пищи получают информацию, настраивающую их пищеварительную систему на переработку пищи только данного компонентного состава.

Технологических червей нельзя культивировать в буртах компостов (субстратов), поскольку компостирование происходит с разогревом компостируемой массы и выделением биогаза, которые губят популяцию червей. По этой причине черви в буртах располагаются в поверхностных слоях основания бурта, где выше влажность и лучше аэрация. Культивирование червей возможно только в полуперепревшем компосте в первоначальном слое толщиной 40–50 см.

При культивировании червей необходимо следить за плотностью популяции, при достижении предельных значений она прекращает свое развитие. Оптимальной "посевной дозой" при заселении червями культиватора с субстратом является их биомасса в $0,3 \text{ кг/м}^2$ (1500 особей). За время цикла культивирования (160 ± 20 сут.) популяция возрастает по количеству особей и по биомассе в среднем в 50 раз. Увеличение "посевной дозы" приводит в конце цикла культивирования к переуплотнению популяции, а особи становятся мелкими, общий выход биомассы червей снижается.

Культивирование дождевых червей. Для закладки культиватора необходимо подобрать подходящее место. Лучше всего его разместить во влажном и не освещенном месте.

Первоначальный слой компоста создается толщиной 40–50 см в виде насыпной грядки, которую необходимо разровнять и хорошо увлажнить. Влажность достаточная, если из комка компоста, зажато в кулак, появятся 1–2 капли влаги. Размер червятника первоначально может не превышать 2 м^2 . Хорошо увлажненный субстрат в культиваторе необходимо закрыть старой мешковиной, черной перфорированной пленкой, или соломой. Влажный субстрат должен выстояться 5–7 сут. Для удаления аммиака и растворения кристалликов солей удобрений, которые могут причинить червям некоторый вред, субстрат необходимо периодически увлажнять. Через 5–7 дней в центре каждого квадратного метра культиватора нужно сделать углубление, и в него поместить подготовленных червей вместе с субстратом, в котором они жили последнее время. После выравнивания поверхности ее нужно накрыть мешковиной, соломой или другим воздухопроницаемым материалом, через сутки увлажнить субстрат культиватора. Такой способ заселения культиватора червями связан с тем, что червям новый субстрат может показаться "невкусным", и тогда они будут некоторое время отсиживаться в своем родном субстрате. Но голод заставит их снова и снова пробовать новый для них субстрат.

Через неделю после заселения нужно посмотреть, переходят ли черви в новый субстрат, – этого срока достаточно для его освоения. Если поверхность червей чистая, а сами они подвижны – это свидетельство их благополучия. Если они вялые, не активные, не пытаются прятаться от света – это признаки их тяжелого поражения различными остатками пестицидов из нового для них корма. В этом случае нужно найти новую популяцию червей из другой навоз-

ной кучи и посадить их в культиватор. Возможно, придется создавать новый компост из другого источника органики. Но такая необходимость возникает крайне редко. Если черви чувствуют себя хорошо в новом субстрате, то на 3–4 недели их нужно оставить в покое. Единственное, в чем они нуждаются в течение этого времени, так это во влаге, поэтому грядку-культиватор необходимо периодически поливать водой, температура которой должна быть равной температуре окружающей среды. Слишком холодная или слишком теплая вода вызывает у червей испуг, шок, т. е. стрессовую реакцию, и они перестают хорошо питаться и размножаться. Вода для полива культиватора с червями должна храниться в какой-либо емкости и отстаиваться не менее суток. За это время она прогреется до нужной температуры, и из нее улетучивается хлор. Последний, как правило, содержится в воде из городского водопровода.

После адаптации к новым условиям вся деятельность червей будет направлена на откладку коконов, т. е. капсул величиной в половину рисового зерна лимоноподобной формы, желтых, с мягкой, но прочной оболочкой. В зависимости от температуры субстрата из отложенных коконов через 15–20 сут. появляются маленькие новорожденные червята, тонкие, как нитки, длиной около 4–6 мм, с красным хорошо видимым спинальным кровеносным сосудом. Это их отличительный признак от нематоды – малых белых червей, которые не имеют красного кровеносного сосуда. Червята подрастают быстро и за 10–12 недель увеличивают свою массу с 1 до 250–500 мг, а к осени в подавляющем большинстве становятся вполне взрослыми. В течение летнего сезона количество червей и их общая живая масса в культиваторе увеличивается в 20–50 раз.

В червятник необходимо периодически добавлять корм в виде компоста, наслаивая его по 15–20 см через каждые 2–3 недели. За время летнего культивирования приходится делать 7–8 наслоений компостов. По мере их поедания червями они уплотняются, но все же грядку-культиватор становится все выше и выше. Высота ее осенью может достигать 0,6 м. Она легко продувается ветром, в ней труднее поддерживать необходимую влажность. Исходя из этого, боковые поверхности ее рекомендуется заделать досками в виде ящика. Последнее кормление червей необходимо провести до наступления морозов. При понижении температуры черви снижают свою активность и начинают впадать в состояние зимнего анабиоза.

Для воспроизводства червей верхнюю обильно заселенную часть грядки-культиватора (примерно одну десятую) переносят на поверхность земли соседнего участка. Закрывают ее слоем компоста в 40–50 см, хорошо закрепив с боков досками. Это делается до наступления морозов. Грядку-культиватор необходимо прикрыть слоем снега, утопав его с боков и сделав недоступным для мышевидных грызунов. Для защиты от грызунов культиватор ограждают различными материалами. Для этого можно использовать металлическую сетку или ветки ели, асбоцементные плиты, листы из старого кровельного железа.

С наступлением весны черви приобретают активность. Потребность в пище у них высокая, поэтому необходимо иметь запас компоста для весенней подкормки червей. Культивируемые черви более зависимы от человека, поскольку своевременно должны получать корм.

Условия сохранения червей в почве. Черви, живущие в огороде или в саду, благотворно влияют на выращиваемые культуры, поэтому меры по их сохранению и размножению в почве позволяют значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур. Внесение червей вместе с биогумусом также может оказаться эффективным, но для этого надо создать условия

для их выживания и приспособления к новым условиям жизни. Для этого необходимо соблюдать несколько правил или условий:

- почва должна быть рыхлой. Перекапывать ее следует специальными вилами, чтобы не погубить червей;

- концентрация растворимых солей более 0,5 % уничтожает червей, поэтому применять минеральные удобрения следует в оптимальных рекомендованных нормах;

- реакция почвенной среды должна быть нейтральной – pH в пределах $7,0 \pm 0,5$. Для выравнивания кислотно-щелочного равновесия почвы в нее необходимо вносить мелиоранты;

- нельзя жечь стерню. На месте кострища черви погибают от перегрева почвы, углекислого газа и повышенной концентрации зольных элементов;

- необходимо поддерживать достаточно высокую влажность почвы. При влажности менее 30 % черви могут погибнуть в течение недели. В то же время они не боятся затопления и выживают в почве заливных лугов во время половодья в течение многих дней и даже недель.

Промышленное культивирование червей с целью переработки навоза скотокомплексов, птицефабрик и других крупных источников органики в принципе отличается только масштабом производства. Известно, что на этих объектах ежедневно образуются сотни и тысячи тонн различных видов навоза, помета, сточных вод и других отходов. В России опыта переработки такого количества этих и других органических отходов в удобрение нет. Практика других стран показывает, что применение биотехнологии культивирования дождевых червей в промышленных масштабах с целью переработки навоза животноводческих комплексов и органических отходов городов, многих предприятий различных отраслей промышленности в гранулированное гумусное, экологически чистое удобрение обеспечивает безотходность производства, повышение его рентабельности и, главное – улучшение качества продуктов животноводства и растениеводства и оздоровление окружающей среды.

За рубежом разведением червей занимаются отдельные фермеры, заинтересованные в ликвидации образующихся в процессе сельскохозяйственного производства растительных остатков и животноводческих отходов, так и целые фирмы, специализирующиеся на утилизации городских и промышленных отходов. В США, Италии, Франции и Германии производителей дождевых червей поддерживает государство путем выделения безвозмездных дотаций и кредитов на выгодных условиях. При организации специализированных хозяйств за рубежом используют различные схемы технологического процесса. Обычно это полностью механизированные предприятия с набором соответствующей техники.

Наибольший экономический эффект обеспечивает культивирование червей в закрытых помещениях, где можно контролировать влажностный, температурный режимы и организовать круглогодичный технологический процесс. Имеющиеся технологии позволяют переработать до 10 т органики в год на 1 м² площади. Создание крупных вермихозяйств под открытым небом будет отличаться гораздо меньшей производительностью, но при этом затраты на производство будут на порядок ниже, поскольку нет необходимости в строительстве капитальных сооружений и отоплении их в зимний период.

Технология промышленного разведения червей предусматривает создание маточного и основного поголовья. В маточной культуре, в условиях, обеспечивающих получение максимального приплода, содержится чистая популяция используемого вида червя. Объем маточной культуры должен обеспечивать возможность

заселения червями новых порций перерабатываемого субстрата с периодичностью, определяемой конкретными объемами производства. В оптимальном варианте вновь поступающие объемы субстрата должны заселяться молодыми червями или даже коконами примерно одного возраста. На поддержание маточной культуры приходится около 30–50 % всех затрат на производство биогумуса.

Основная культура в условиях закрытого помещения ведется в лотках глубиной 40–50 см, которые размещаются на стеллажах. В лотки помещается субстрат слоем 10–15 см, который заселяется червями из расчета 10–15 тыс. особей/м². Раз в 1–2 недели в лотки добавляется новый слой субстрата в 5–10 см. Оптимальная температура поддерживается на уровне +20–22°C, необходимая влажность обеспечивается периодическим поливом субстрата. При культивировании червей на открытых площадках субстрат укладывают слоем 40–50 см в длинные грядки шириной до 1,5 м. По мере необходимости (обычно раз в 2–3 недели) добавляют новые слои субстрата и поливают.

Разделение червей и компоста. Технологии отделения червей от субстрата достаточно просты, малоэнергоёмки и нематериалоёмки. Червей можно отделять от субстрата как механически, так и используя новый корм в качестве приманки.

Для извлечения червей из компоста используют воронкообразные сита или специальные устройства, представляющие собой полый цилиндр с жесткой щеткой на внутренней поверхности. При вращении цилиндра черви щеткой как бы вычесываются из компоста. Используются способы светового и электрического воздействия на компостируемый методом вермиккультуры субстрат, вынуждающие червей выползти из субстрата на поверхность. Для отделения червя от биогумуса с помощью приманки им необходимо некоторое время не добавлять новый корм. Черви переработают остатки старого субстрата и начнут голодать, а после добавления слоя свежего корма они переходят в него в течение 1–2 суток. Затем этот слой снимается, черви в нем не повреждаются и могут быть использованы для заселения новых порций субстрата.

Биогумус, предназначенный для реализации, надо подсушить до 50–60 % влажности, затем просеять вручную на ситах или на виброситах с ячейками различного диаметра. Его желательнее разделить на три фракции по величине гранул: мельчайшая – 0,1 мм, мелкая – 0,3–0,6 мм и крупная – 0,7 мм. Непросеянные остатки возвращают для дальнейшей переработки в вермиккультуре.

Биомасса дождевых червей с успехом может применяться в самых различных областях народного хозяйства, где в первую очередь требуются белки животного происхождения. Культивируемые черви обладают столь же полноценным белком аналогичного аминокислотного состава, как мясная и рыбная мука, что они могут практически использоваться в качестве источника полноценного белка для сбалансирования кормовых рационов домашней птицы, свиней, прудовой рыбы. Продукт переработки биомассы червей может также служить сырьем для получения аминокислот, антибиотиков, ферментов, стимуляторов роста, которые могут быть компонентами в производстве лекарственных препаратов.

7.3.9.2. Химический состав и свойства биогумуса

Биогумус (вермикомпост) представляет собой гумусное органическое удобрение, получаемое при переработке компостов с помощью дождевых червей. Его состав в значительной степени зависит от исходного материала – органического субстрата, используемого для вермиккультуры. Чем он богаче органикой, тем выше питательная ценность конечного продукта.

Свежеприготовленный биогумус в среднем характеризуется следующим химическим составом в расчете на абсолютно сухое вещество (табл. 147; Шеуджен А.Х., Котляров Н.С., Караченцев В.В. и др., 2004). Кроме указанных, в биогумусе содержатся в большом количестве и другие необходимые для растений элементы минерального питания в довольно сбалансированном виде.

Таблица 147 – Химический состав биогумуса, %

Показатель	Содержание	Показатель	Содержание
Гумус	25–30	Магний	0,6–1,5
Азот	1,5–3,0	Железо	0,6–1,3
Фосфор	1,8–4,0	Медь	0,03–0,04
Калий	1,5–3,0	Марганец	0,06–0,09
Кальций	4,5–7,0	Цинк	0,08–0,09

Несмотря на то, что содержание элементов минерального питания растений варьирует в значительных пределах, в целом биогумус является очень ценным органическим удобрением, т. к. в среднем 1 т абсолютно сухого удобрения содержит до 60–80 кг питательных веществ, находящихся в доступных для растений формах.

Главным достоинством гумусного органического удобрения является то, что он превосходит навоз и компост по содержанию гумуса в 4–8 раз. Кроме этого, биогумус, обогащенный гумусовыми веществами и биогенами, по сравнению с традиционными компостами, обладает также рядом полезных технологических свойств: "не горит", имеет большую влагоемкость, влагоустойчивость, гидрофильность, механическую прочность гранул, в нем отсутствуют семена сорных растений. Он отличается достаточным постоянством таких свойств, как рассыпчатость, регулируемая влажность, технологичность использования, небольшие энергетические затраты на производство, транспортировку и внесение в почву.

Биогумус – еще и микробиологическое удобрение. Богатство флоры бактерий биогумуса стократно превышает то, что содержится в навозе животных, который считается наилучшим натуральным удобрением. Если в 1 г навоза содержится 150–350 млн. колоний бактерий, то в вермикомпосте этот показатель достигает 100–200 млрд. Биогумус к тому же биологически активное вещество, поскольку содержит стимулирующие рост растений вещества: различные ферменты, почвенные антибиотики, гормоны роста и развития растений, витамины. По вместимости биологически активных веществ 1 м³ биогумуса приравнивается к 70 тыс. м³ почвы. Биогумус характеризуется нейтральной реакцией среды, рН обычно колеблется в пределах 6,8–7,2. Это создает в почве условия, затрудняющие развитие болезней.

Применение биогумуса экономически более выгодно, чем навоза. Внесение навоза требует больших материальных затрат, зависит от погодных условий, усиливает засоренность плантаций. При несвоевременной заделке в почву наблюдаются большие потери азота и других питательных веществ. Затраты на применение биогумуса в 3–4 раза меньше, чем навоза, за счет более низких норм и оптимизации способов его внесения. Расходы на производство биогумуса перекрываются сокращением затрат на его внесение, повышением количества и качества урожая.

7.3.9.3. Биогумус как удобрение

В зарубежных странах биогумус используется в основном в качестве питательного субстрата при выращивании рассады овощей и декоративных растений. Ввиду дороговизны использование его под полевые культуры довольно ограничено.

По отзывчивости на биогумус можно выделить несколько групп растений:

1. Овощные культуры, клубнеплоды, корнеплоды очень отзывчивы, прибавка урожайности составляет 35–40 %;
2. Зерновые культуры реагируют хорошо, прирост до 25 %;
3. Зернобобовые культуры реагирует удовлетворительно, прибавка до 15 %;
4. Масличные культуры реагируют слабо.

Биогумус наиболее рационально использовать в овощеводстве и цветоводстве, особенно в тепличных сооружениях. Особенно важно, что выращивание овощных культур при этом может обеспечиваться только за счет внесения гумусного удобрения, без применения минеральных удобрений. Собранные овощи характеризуются как экологически чистые и могут использоваться как диетические продукты и для детского питания.

Биогумус превосходит другие органические удобрения по действию на рост, развитие и урожайность различных сельскохозяйственных культур. По своим физическим свойствам вермикомпосты превосходят компосты, полученные традиционным способом, причем независимо от того, какие отходы используют в качестве сырья. Они в большей мере гомогенны, обладают более высокой водоудерживающей способностью, большей порозностью, лучшей структурированностью. По сравнению с обычными компостами, биогумус обогащен питательными элементами в доступных для растений формах. Его более высокая питательная ценность объясняется тем, что в процессе микробиологической ферментации обычного компоста происходит потеря значительной части питательных веществ.

Практика показывает, что биогумус как биологический вид удобрений, играющий аккумулятивную, регуляторную и протекторную функции в жизнедеятельности растительного организма, способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур на 20–30 %, улучшает их качество. Для получения высокого урожая достаточно внести несколько тонн биогумуса на 1 га, что значительно меньше по сравнению с рекомендуемыми дозами внесения навоза.

Эффект, наблюдаемый при внесении биогумуса, невозможно объяснить действием лишь одних физических или химических факторов. Положительное его воздействие на рост растений связано в значительной степени и с биологическими факторами, а именно с регуляторами роста, являющимися продуктами метаболизма микроорганизмов, участвующих в разложении отходов.

Применение биогумуса в качестве удобрений сокращает период вегетации растений на 1–2 недели, что весьма важно для Нечерноземья, Сибири и Дальнего Востока, повышает их урожайность и устойчивость к болезням как при выращивании, так и при хранении. Биогумус обладает оздоравливающим действием: больные растения в теплицах после внесения удобрения и поселения дождевых червей выздоравливают.

Внесение в почву. Перед внесением биологического гумуса почву пахут на глубину 30–32 см и следом тщательно боронуют. Гумус вносят, равномерно разбрасывая его после осадков или после орошения. Поле, удобренное биогумусом, оставляют на 3–6 месяцев под паром.

Биогумус отличается от других видов удобрений тем, что внесение его даже в очень высоких дозах не наносит вред растениям. Внесение в почву биогумуса исключает перенасыщение ее отдельными видами питательных элементов, полегание посевов и другие отрицательные последствия. На основании химического анализа почвы определена оптимальная доза чистого гумуса – 3–3,5 т/га, неочищенного – 4–5 т/га. Наиболее эффективно внесение биогумуса при посеве вместе с семенами и посадочным материалом на глубину заделки. При таком способе внесения достаточно нормы 250–300 кг/га (25–30 г/м²). Отклонение нормы внесения биогумуса в ту или иную сторону увеличивает или сокращает лишь период его воздействия на плодородие почвы. Можно выращивать растения на 100 % биологической среде, но, как правило, на чистом вермикомпосте растения растут хуже, чем на смеси его с торфом и другими субстратами.

Некорневые подкормки растений и замачивание семян перед посевом.

Для полива и опрыскивания овощных культур, плодовых деревьев и кустарников, а также замачивания семян перед посевом хорошо использовать жидкий биогумус – водный экстракт из биогумуса. Для его получения существует ряд методов. В производственных условиях из хорошо просеянного биогумуса и воды готовят смесь, содержащую 25 % сухого вещества. После смачивания в течение нескольких часов перемешанную и однородную смесь пропускают через высокооборотную центрифугу. Смесь разделяется на твердую мутную жидкость и твердую фазу, содержащую 65–80 % сухого вещества. Жидкость содержит в доступном для растений виде широкий набор макро- и микроэлементов, аминокислот, энзимов, растительных гормонов, антибиотиков.

В небольших количествах для нужд приусадебного участка водный экстракт из биогумуса готовят следующим образом: 1 стакан сухого гумусного удобрения высыпают в ведро с водой комнатной температуры, хорошо перемешивают и дают отстояться в течение суток. Вода приобретает светло-коричневый цвет чая. Получается слабый раствор гуматов и других растворимых солей, который можно использовать для обработки семян, некорневых подкормок растений, а также для полива рассады огородных культур и комнатных растений.

Лучшими сроками для проведения некорневой подкормки плодовых деревьев являются: после цветения, в начале опадания завязи, в период закладки цветочных почек, роста плодов. Опрыскивание в фазе закладки цветочных почек положительно сказывается на урожайности следующего года. Овощные культуры хорошо отзываются на некорневую подкормку до цветения и после образования плодов, виноград – после образования кисти и в период налива ягод, земляника – после образования ягод. Трехкратное опрыскивание цветочных культур раствором гуматов с интервалом 7–8 дней вызывает ускорение роста и цветения их на 7–10 дней, усиливает интенсивность окраски листьев и значительно повышает декоративность растений. Следует также отметить, что некорневая подкормка растений экстрактом биогумуса значительно повышает их устойчивость к таким болезням, как фузариоз, мучнистая роса, бактериоз, серая гниль.

Для замачивания семян используется экстракт из биогумуса в концентрациях от 0,001 до 2,5 %. В растворе замачивают семена на 12 ч, при этом повышается их всхожесть, а также скорость и дружность прорастания.

Восстановление деградированных почв. Биогумус можно использовать для восстановления плодородия почв, потерявших его в результате эрозионных процессов, загрязнения токсичными веществами и других негативных

явлений. Имеющаяся в биогумусе специфическая микрофлора способна обеспечить все функции почвы и придать ей свойства высокого плодородия.

Содержащиеся в биогумусе микроорганизмы способствуют переводу токсичных форм тяжелых металлов в малоподвижные соединения. При взаимодействии биогумуса с пестицидами происходит резкое снижение их содержания в почве, что обусловлено процессами иммобилизации и адсорбции. При внесении биогумуса увеличивается активность уреазы, фосфатазы, а также малатиновой эстеразы, отвечающих за деградацию пестицидов. Повышая детоксикационные свойства почв, биогумус дает возможность вернуть сельскому хозяйству участки, непригодные для использования из-за загрязнения. Еще больший эффект в этом случае дает интродукция самих дождевых червей в почву загрязненных участков, которые способствуют деградации остатков пестицидов.

Необходимо отметить, что и сами дождевые черви способны восстанавливать плодородие эродированных, а также непригодных для использования в связи с загрязнением земель. В настоящее время во многих странах проводят работы по повышению плодородия почв путем увеличения численности дождевых червей. В США такой прием практикуют при рекультивации нарушенных земель, в Нидерландах – при освоении полей. Заселение червями почв пастбищ, созданных на полях, способствовало снижению уплотнения почвы, вызванного выпасом скота, и более быстрой гумификации неразложившихся растительных остатков. Наиболее интересен в этом отношении пример Новой Зеландии, куда из Европы завезли значительное количество дождевых червей и расселили из расчета 500 особей/м² на окультуренных пастбищах общей площадью 3 млн. га, где местные черви под влиянием антропогенной деятельности были почти полностью уничтожены. Продуктивность пастбищ удалось восстановить, прибавка урожая сухого вещества трав достигала 70 %.

Согласно разработанной технологии, необходимо вносить культивируемых червей вместе с сырым гумусом на поля из расчета не менее 50 особей/м², т. е. 500 тыс. особей/га. Эту технологическую операцию рекомендуется повторять через полгода. Поле остается под паром год, но через шесть месяцев его необходимо подкормить компостом или навозом.

7.4. Современные удобрительные смеси

В настоящее время потребительский рынок заполнен большим количеством удобрений и почвенными грунтами. Производителями этих продукций являются как отечественные, так и зарубежные фирмы. Из зарубежных фирм наиболее крупными поставщиками удобрений являются фирмы "Кемиро Агро" (Финляндия), "Норск-Гидро" (Норвегия), "Покон" (Голландия), "КОМПО" (Германия) и "Хайфа Кемикалз" (Израиль). Однако есть случаи, когда малоизвестные производители выпускают свою продукцию под названием, сходным с названием признанных фирм, но отличающуюся худшим качеством. Особенно много подделок приходится на удобрения. Поэтому потребитель должен обладать достоверной информацией о современных промышленных почвенных и удобрительных смесях. Необходимо оговориться, что при выборе почвенных смесей с некоторой осторожностью следует относиться к рекламным заверениям отдельных производителей. Так, особую настороженность должны вызывать заявления о необходимости применения только какого-то конкретного универсального препарата для всех культур, без учета их биологических особенностей и фазы развития.

Надо помнить, что даже практически идентичные удобрения разных фирм могут оказывать несколько различные действия на растения. Причем, если один из препаратов оказался эффективнее для какой-то группы культур, то это несколько не означает, что и для другой группы он проявится лучше. Поэтому при выборе удобрения для растений, кроме свойств самого удобрения, необходимо знать и учитывать почвенно-климатические условия района возделывания и биологические особенности выращиваемой культуры.

В настоящее время число наименований удобрений и фирм, выпускающих их, достигает нескольких тысяч, что не позволяет подробно остановиться на всех. Да и надобности в этом нет, так как их продукция во многом схожа между собой. Поэтому здесь приводится информация только по некоторым из них. Основными критериями отбора данных об удобрениях были их новизна и наличие информации о производителе и его продукции. Другим важным критерием отбора стала доступность их для массового российского потребителя. Большая часть описанных препаратов производится отечественными предприятиями на территории Российской Федерации и имеется в свободной продаже.

7.4.1. Минеральные удобрения

Альбатрос – высококонцентрированное безбалластное удобрение с полным набором макро- и микроэлементов. На российский рынок это удобрение поставляет норвежская фирма "Норск-Гидро". Азот содержится в амидной форме. Рекомендуются, в первую очередь, для некорневых подкормок в период вегетации растений.

Агровитаква АВА – "стеклообразное" (стеклоподобное) комплексное, безазотное, бесхлорное удобрение. Оно представляет собой высокотемпературный расплав различных солей метафосфорной кислоты. Содержит 55–60 % фосфора, 17–19 – калия, 12–14 – кальция, 4–5 – магния, 1,0–1,5 – бора, по 0,1–0,2 – кремния, цинка, меди, кобальта, железа, молибдена, хрома, никеля, 0,05 % селена. Производится в России.

Удобрение АВА обладает рядом существенных преимуществ перед традиционными поликристаллическими удобрениями. Специфика "варки" стеклообразной массы позволяет изменять число и соотношение входящих в удобрение макро- и микроэлементов, тем самым подбирать наиболее оптимальный его состав для отдельных культур и почв. Достоинством этого удобрения является то, что оно длительного действия и не теряет активность при однократном применении 2,5–3 года. Процесс растворения начинается при температуре выше +8°C, что соответствует температуре начала роста растений и периоду потребления элементов минерального питания из почвы. Растворение АВА прекращается при снижении температуры почвы ниже указанной, что соответствует уменьшению физиологических требований растений в элементах питания.

АВА устойчиво к вымыванию с полей, расположенных в пойме рек, на любой местности с пересеченным рельефом, на почвах с высокой водопроницаемостью и сезонной увлажненностью, а также из затопляемых рисовых почв. АВА можно применять без опасения потерь элементов питания, в любое время года. Удобрение выпускается в гранулированном, порошкообразном и жидком виде без снижения питательной ценности. Это позволяет в зависимости от биологических особенностей растений использовать различные формы этого удобрения – порошкообразную, с быстрым растворением, или гранулированную, имеющую пролонгированное действие и период растворения в почве не менее трех лет. Экономические затраты на внесение АВА минимальные, учи-

тывая срок действия и норму внесения. Гранулы удобрения AVA в почве растворяются постепенно под действием не только воды и температуры, но и под воздействием органических кислот, выделяемых корнями растений и почвенной микрофлорой. Это позволяет избежать отрицательного влияния повышенных концентраций солей на корневую систему и микроорганизмы почвы. Применение удобрений AVA приводит к активизации жизнедеятельности различных почвенных микроорганизмов, таких, как целлюлозоразрушители и симбиотические азотфиксаторы, активно связывающие атмосферный азот.

Микроэлементы, входящие в состав AVA, повышают активность ферментов, оказывают положительное влияние на фиксацию азота воздуха клубеньковыми бактериями. Кроме того, применение этого удобрения сопровождается повышением фунгистатичности почвы, т.е. подавлением развития патогенных грибов, а также приводит к накоплению гуматов и гуминовых кислот, способствующих повышению плодородия почвы. Немаловажно и то, что технология производства удобрения AVA, в отличие от традиционных технологий использующая метафосфорную кислоту, не наносит ущерба экологии окружающей среды и здоровью занятых в производстве людей.

Удобрение AVA вносится под овощные, плодово-ягодные культуры как основное припосевное и подкормка. *Под вегетирующие многолетние растения* вносится: земляника – от 3 до 5 г на куст, плодовые деревья – от 50 до 100 г по диаметру кроны, декоративные растения – до 20 г/м².

При посадке: земляника – не более 5 г на лунку. Этого хватит на 3 года. кусты ягодные и декоративные – не более 50 г на яму; деревья – 50–100 г на посадочную яму 100x100 см; томаты, перцы, картофель, капуста – 3–5 г на лунку, удобрение равномерно перемешать с подготовленным грунтом; комнатные растения – 1–3 г на 1 л почвы.

Гербамин – экологически чистое удобрение и стимулятор роста растений. В его составе: экстракт 11 видов лекарственных растений. Содержит макро- и микроэлементы, ферменты, витамины, фитогормоны.

Используется в период вегетации при выращивании плодовых, овощных, декоративных культур. Применяют методом полива почвы или опрыскивания растений. Способствует сбалансированному питанию растений и увеличению их продуктивности, повышению устойчивости к болезням, вредителям и неблагоприятным условиям произрастания.

Гидрокомплекс – удобрение с микроэлементами для предпосевного внесения и подкормок сельскохозяйственных культур. Содержит 12 % – азота, 11 – фосфора, 18 – калия, 3 – магния, 8 – серы, 0,2 – железа, 0,02 – цинка, 0,015 – бора, 0,02 % марганца.

Мульти-NPK – хорошо растворимое в воде удобрение. Выпускается в кристаллическом и гранулированном виде фирмой "Хайфа Кемикалз" (Израиль). Содержит 12 % азота, 2 – фосфора и 44 % калия. Используется как для основного внесения в почву, так и для некорневых подкормок вегетирующих растений.

Растворин – типичное сложно-смешанное удобрение отечественного производства. Выпускает Буйский химический завод (Костромская область). Рекомендуется для основного внесения, корневых и некорневых подкормок под плодово-ягодные культуры, цветочные растения и рассаду. Его можно использовать как в открытом, так и защищенном грунте. Выпускают несколько марок "Растворина". Из них наиболее распространены: марка А, марка Б и марка В. Соотношение в марке А – N:P₂O₅:K₂O:MgO = 10:5:20:6; марке Б – 18:6:18:0; марке В – 18:18:18:0. Все марки "Растворина" содержат необходимый для жизнедеятельности расте-

ний набор микроэлементов, хорошо растворяются в воде и не содержат вредных примесей. Однако это удобрение вызывает слабое подкисление почвы.

В начале вегетации, когда растения для нарастания вегетативных органов требуют повышенное количество азота, лучше применять удобрения марки Б. В период вегетации в качестве подкормок можно использовать марку А, а на бедных фосфором почвах марку В.

Рязаночка – водорастворимое удобрение для ягодных культур. Содержит 15 % азота, 7,5 – фосфора, 7,5 – калия, 1,9 – магния, 2,1 – марганца, 1,5 – цинка, 0,04 – кобальта, 0,25 – меди, 0,04 – молибдена, 1,5 % бора.

Способ применения: корневая и некорневая подкормки. Для корневой подкормки готовят рабочий раствор – 4 г удобрения на 10 л воды. Первую подкормку проводят в начале вегетации растений (2–4 л/2–3 м²), вторую – в период бутонизации – начало цветения (3 л/2–3 м²), третью – в фазе плодоношения (3–5 л/2–3 м²). Некорневую подкормку растений производят водным раствором, содержащим 2 г/10 л воды.

Свентовит-БИО – представляет собой экстракт лекарственных трав (одуванчик лекарственный, ромашка лекарственная, валериана, тысячелистник, корень лопуха, шалфей, лаванда, крапива). Удобрение содержит 4,5 % азота, 1,5 – фосфора, 4,5 % калия, железо, натрий, магний и микроэлементы. В состав удобрения входят также протеины, аминокислоты, витамины и регулятор роста – гибберсиб. Подбор трав сделан с учетом их действия на растения. Ромашка, тысячелистник и лаванда обладают инсектицидными свойствами. Крапива, шалфей и тысячелистник содержат большое количество витаминов (А, В и К), оказывающих благоприятное влияние на процессы жизнедеятельности. Корень лопуха содержит гликозиды, витамины и минеральные кислоты, обладает сильными адаптационными свойствами и способен повышать иммунитет растений в неблагоприятных условиях.

По своей сути, "Свентовит-БИО" является одновременно и быстродействующим удобрением, и биологически активным веществом, влияющим на физиолого-биохимические процессы жизнедеятельности растений. Предназначено оно для корневых и некорневых подкормок овощных, ягодных культур, цветочных и декоративных растений в качестве комплексного удобрения и стимулятора роста. Способствует сбалансированному минеральному питанию, улучшает декоративные качества, активизирует рост растений, обеспечивает защиту от вредителей и болезней, повышает адаптационные свойства.

"Свентовит-БИО" применяется для полива в период вегетации и для некорневых подкормок растений. Применение его для декоративных культур способствует более раннему цветению, повышению размера, количества и качества цветков, интенсивности их окраски.

Во время интенсивного роста комнатные растения нуждаются в регулярных подкормках один раз в 10–12 дней. Причем, более благоприятными считаются частые регулярные подкормки слабыми растворами удобрений. Для полива почвы рекомендуется применять 0,5 % концентрацию "Свентовит-БИО". Наряду с корневыми подкормками можно произвести несколько некорневых подкормок, опрыскивая листовую поверхность растений 0,3 % раствором этого препарата. Для выгонки луковичных культур почву под ними рекомендуется поливать препаратом "Свентовит-БИО" в концентрации 1,2 %. Это связано с тем, что при недостатке питания цветоносы у них становятся низкими, масса листьев небольшой, а цветы получаются мелкими, причем сильно укорачивается период цветения.

Сударушка – водорастворимое минеральное удобрение для овощных культур. Содержит 15 % азота, 7,5 – фосфора, 7,5 – калия, 1,9 – магния, 2,1 – марганца, 1,5 – цинка, 0,04 – кобальта, 0,25 – меди, 0,04 – молибдена, 1,5 % бора.

Рекомендовано для подкормки овощных культур. Способы применения – корневая подкормка, путем полива раствором 4 г/10 л воды. При подкормке в период активного вегетативного роста растений расход 1–2 л/м², бутонизации – 2–3 л/м²; формирования плодов – 2–3 л/м². Некорневую подкормку растений осуществляют опрыскиванием раствором, содержащим 2 г удобрения в 10 л воды, 2–3 раза за вегетационный период.

Агрикола. Удобрения "Агрикола" выпускаются в сухом и жидком виде. В сухом виде эти удобрения предназначены для цветоводства и для овощеводства. В серию "Агрикола" для цветоводства входят универсальное удобрение "Агрикола для комнатных растений", применяемое для аспарагусов, бальзаминов, бегониевых, гераниевых, диффенбахий, колеусов, колумней, марантов, плющей, традесканций, фиалок, фиттоний, фуксий, хлорофитумов, цикламенов, циссусов и других растений. В нем содержится 23 % азота, 11 – фосфора, 23 – калия, 0,08 – бора, 0,016 – меди, 0,16 – железа, 0,08 – марганца, 0,008 – молибдена, 0,016 % цинка. Для нецветущих видов (аспарагусы, кроттоны, плющи, пуансеттия, традесканции, хлорофитумы, циссусы) выпускается "Агрикола для декоративных листовых растений". Для цветущих видов, таких, как агератумы, афеландры, бальзамины, бегонии, гардении, гераниевые, камелии, спатофилломы, фиалки, цикламены, цветущие луковичные растения и другие, можно использовать "Агриколу для цветущих растений" с содержанием 23 % азота, 11 – фосфора и 23 % калия. Кроме названных элементов содержит бор, медь, цинк, марганец, железо и молибден. "Агрикола для кактусов и суккулентов" применяется для подкормок различных видов кактусов и близких к ним по режиму питания культур (агав, алоэ, гастерий, каланхоэ, мамиллярий, молочаев, нотокактусов, опунций, пахифитумов, эхинопсисов, эхинокактусов, рипсалидопсисов). Содержит: 12 % азота 26 – фосфора, 20 – калия, 0,13 – бора, 0,03 – меди, 0,27 – железа, 0,13 – марганца, 0,06 – молибдена, 0,03 % цинка.

Выпускается "Агрикола для комнатных и садовых роз", "Агрикола для пальм", которые предназначены для подкормок большинства видов декоративных пальм и некоторых других растений (драцены, калатеи, ливистоны, маранты, монстеры, трихикарпусы, филодендроны, финики, хамадореи, хамеропсы, ховеи, юкки). "Агрикола для фикусов" предназначена для подкормок аспер, дельтоидей, лират, пумил, религиоз, рубигеноз, фикусов и эластиков.

В настоящее время выпускается ряд препаратов серии "Агрикола" в жидкой форме. Из этих препаратов для комнатного цветоводства предназначен препарат "Агрикола фантазия"; для выращивания рассады овощных и цветочных культур – "Агрикола форвард". Кроме того, под маркой "Зеленая планета" в серии "Агрикола" начато производство цветочных удобрений в коробочках по 200 г. В серию "Зеленая планета" вошли восемь видов удобрений для кактусов, фикусов, пальм, цветущих, декоративнолистных растений, комнатных цветов, ягод и садовых роз. Все они содержат оптимальный для каждой группы растений набор макро- и микроэлементов.

Удобрения серии "Агрикола" рекомендуется применять для полива цветов один раз в 10–14 дней из расчета 5 г/2 л воды. Возможно их использование и для некорневой подкормки растений.

Акварин – водорастворимое минеральное удобрение. Наиболее распространенными из этой серии являются "Акварин-картофельный", "Акварин-плод", "Акварин-колор", "Акварин-юниор".

"Акварин-картофельный" содержит 12 % азота, 12 – фосфора, 35 – калия, 1,0 – магния, 0,7 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,02 – бора, 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,004 – молибдена, 0,01 – меди (ЭДТА), 0,014 % цинка (ЭДТА).

Применяется самостоятельно или совместно со средствами защиты растений. При добавлении в раствор пестицидов действует как антистрессант, помогая растениям легче переносить стресс от воздействия пестицидов. За вегетационный период возможно проведение 3–4-х обработок: 1-я и 2-я – перед окучиванием, 3-я – перед цветением, 4-я – после цветения. Доза внесения – 20–30 г/10 л воды на 100 м².

"Акварин-юниор" используют для подкормки овощных, плодово-ягодных и декоративных культур от рассады до начала цветения. Содержит 19,0 % азота (11,9 % – N–NO₃; 7,1 % – N–NH₄), 6 – фосфора, 20 – калия, 1,5 – магния, 1,4 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,02 – бора, 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,014 – молибдена, 0,01 – меди (ЭДТА), 0,014 % цинка (ЭДТА).

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Этим раствором проводят корневые и некорневые подкормки. Периодичность подкормок: огурцы, перцы, томаты, баклажаны – раз в 10 дней; капуста, лук, редис и другие овощи – раз в 2 недели; плодовые и ягодные кустарники – 1 раз в месяц из расчета 5–10 л на куст, комнатные растения – через 10–15 дней.

"Акварин-плод" применяют для подкормки овощных, плодовых и декоративных культур в фазе плодоношения. Эффективен в фазе цветения растений. Содержит 12 % – азота (10 % – N–NO₃; 2 % – N–NH₄), 12 – фосфора, 35 – калия, 1,0 – натрия, 0,07 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,014 – цинка (ЭДТА), 0,01 – меди (ЭДТА), 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,04 – молибдена, 0,02 % – бора.

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Проводят корневые и некорневые подкормки. Периодичность подкормок: овощные культуры – раз в 10 дней; плодовые и ягодные кустарники – 1 раз в месяц из расчета 5–10 л на куст; комнатные растения – через 10–15 дней.

"Акварин-колор" предназначен для подкормки овощных, плодовых и декоративных растений в фазах цветения и начала плодоношения. Содержит 15 % азота (11,3 – N–NO₃; 3,7 – N–NH₄), 5 – фосфора, 30 – калия, 1,7 – магния, 1,3 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,02 – бора, 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,004 – молибдена, 0,01 – меди (ЭДТА), 0,014 % цинка (ЭДТА).

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Проводят корневые и некорневые подкормки с периодичностью: овощные культуры – раз в 10 дней; плодовые и ягодные кустарники – 1 раз в месяц из расчета 5–10 л на куст, комнатные растения – через 10–15 дней.

Кемира. Поставщиком удобрений является фирма "Кемира агро" (Финляндия). Удобрения этой серии производится и в нашей стране. Из удобрений торговой марки "Кемира" следует отметить следующие: "Кемира универсал", "Кемира универсал-2", "Кемира люкс", "Кемира супер", "Кемира комби", "Кемира цветочное", "Кемира газонное", "Кемира картофельное", "Кемира картофельное-5". Все эти удобрения легко и быстро растворяются в воде, содержат набор макро- и микроэлементов, подобранных для различных видов растений, хорошо смешиваются с другими туками. Технология изготовления удобрений "Кемира" такова, что каждая гранула содержит полный набор питательных элементов, что способствует равномерному внесению их в почву.

"Кемира универсал" содержит 10 % азота (6,2 % – N–NH₄; 3,8 % – N–NO₃), 10 – фосфора, 20,0–20,5 – калия, 11 – серы, 2,5 – магния, 1,0 – кальция, 0,1 – железа, 0,15 – бора, 0,1–0,15 – меди, 0,1–0,7 – марганца, 0,01–0,1 – молибдена, 0,1–0,7 – цинка и 0,0006 % селена; растворимость – 85–87 %.

"Кемира универсал" применяется в качестве основного удобрения для овощных культур защищенного и открытого грунтов при выращивании рассады и цветочных растений. Удобрения перемешивают с субстратом при обработке почвы заблаговременно до высадки, тогда питательные вещества успевают равномерно распределиться в субстрате до высадки рассады. Можно применять также во время вегетации растений. Для этого его рассыпают по поверхности почвы с последующим легким рыхлением.

Ниже приведены рекомендуемые производителем нормы применения удобрения "Кемира универсал" (табл. 148).

Таблица 148 – Ориентировочные нормы внесения удобрения "Кемира универсал"

Культура	Норма, кг/100м ²
Капуста, брюква, свекла столовая	8–10
Огурцы, сельдерей, лук, капуста пекинская	7–10
Пастернак	6–9
Картофель	5–8
Морковь, фасоль	5–7
Горох	3–6
Плодовые деревья	3–6
Малина, смородина	2–4
Земляника	1–3

"Кемира универсал-2" содержит 12,0 % азота (9 % – N–NH₄; 3 % – N–NO₃), 8,0 – фосфора, 14 – калия, 2,0 магния, 8,0 – серы, 0,2 – железа, 0,1 – бора, 0,1 – меди, 0,2 – марганца, 0,1 – цинка, 0,01 % молибдена. Используют для выращивания садовых культур и овощей в открытом и закрытом грунтах. Оно разработано специально для использования при возделывании чувствительных к хлору овощных, плодовых и ягодных культур, картофеля и декоративных растений.

"Кемира универсал-2" применяется как основное удобрение и в качестве подкормок в период вегетации растений. При основном внесении удобрение равномерно распределяют по поверхности почвы и заделывают на глубину 10–15 см. Подкормку овощных культур проводят спустя 25–30 дней после высадки рассады. Удобрения вносят, равномерно разбросав его на используемой площади, и заделывают в почву.

Ниже приведены рекомендуемые производителем нормы применения "Кемира универсал-2" для различных культур (табл. 149)

Таблица 149 – Ориентировочные нормы внесения «Кемира Универсал-2»

Культура	Норма, кг/100м ²
Картофель	50–80
Томат, перец	60–80
Салат, шпинат, горох, укроп, петрушка	80–100
Морковь, репа, лук, редис, свекла	100–120
Капуста, брюква, огурец, тыква, сельдерей, ревень	120–160
Земляника	20–30
Смородина, малина	40–60
Молодые фруктовые деревья	30–60
Взрослые фруктовые деревья	70–90
Лиственные деревья, кустарники	100–120
Розы, цветы для клумб	80–100
Травы для газона	100–150

"Кемира люкс" содержит 16 % азота (7,9 % – N–NH₄; 8,1 % – N–NO₃), 21 – фосфора, 27 – калия, 0,1 – железа, 0,1 – марганца, 0,02 – бора, 0,01 – цинка, 0,01 – меди, 0,002 % молибдена; растворимость удобрения 100 %.

Рекомендации фирмы "Кемира-агро" по применению удобрения "Кемира Люкс":

Выращивание рассады	20 г удобрения растворить в 20 л воды и поливать один раз в неделю
Комнатные растения	20 г удобрения растворить в 10 л воды и использовать летом при каждом поливе, зимой каждый третий-четвертый раз
Подкормки в теплице	20 г удобрения растворить в 10 л воды и поливать один раз в неделю
Подкормки в открытом грунте	20 г удобрения растворить в 10 л воды и поливать один раз в неделю

"Кемира супер" содержит 11 % азота, 24 – фосфора, 24 % калия; растворимость удобрения 100 %.

"Кемира комби" содержит 14 % азота, 10 – фосфора, 25 % калия; растворимость удобрения 100 %.

"Кемира цветочное" содержит 17,7 % азота (10,3 % – N–NO₃, 7,4 % – N–NH₄), 9,4 – фосфора, 11,2 – калия, 0,55 – кальция, 0,5 – магния, 0,7 – серы, 0,09 – бора, 0,08 – меди, 0,16 – железа, 0,16 – марганца, 0,08 – молибдена, 0,09 % цинка; растворимость удобрения 100 %.

Нормы применения:

Многолетние цветы	50–60 г/м ²
Розы, клематисы	80–90 г/м ²
Однолетние цветы	80–100 г/м ²
Луковичные растения	100–120 г/м ²

"Кемира газонное" содержит 11,3 % азота (4,4 % – N–NO₃, 6,9 % – N–NH₄), 12,0 – фосфора, 26,0 – калия, 0,55 – кальция, 0,7 – магния, 0,09 – бора, 0,08 – меди, 0,16 – железа, 0,16 – марганца, 0,08 – молибдена, 0,09 % цинка; растворимость удобрения 95–100 %. Перед закладкой газона удобрения вносят из расчета 1,0–1,5 кг/м³ грунта и тщательно перемешивают. После каждого второго скашивания разбрасывают удобрения из расчета 5–7 кг/100 м² газона и поливают. Весной для хорошего дружного отрастания трав подкармливают газон удобрением по 4–5–7 кг/100 м².

"Кемира картофельное" содержит 12,0 % азота, 14,0 – фосфора, 17,0 % калия; удобрение имеет 100 % растворимость в воде. Норма внесения 60–80 г/м². Если удобрение вносят в посадочную яму – норма 15–20 г на одно растение и с обязательным размешиванием с почвой. Подкормки в период вегетации производят перед рыхлением; норма – 30–40 г/м².

"Кемира картофельное-5" содержит 10,7 % азота (5 % – N–NO₃, 5,7 % – N–NH₄), 8,7 – фосфора, 16,0 – калия, 2,7 – магния, 2,7 % серы; растворимость в воде 100 %.

"Кемира осеннее" – гранулированное удобрение с макро- и микроэлементами для плодовых декоративных деревьев и кустарников, а также для луковичных растений. Содержит: 4,8 % азота, 20,8 – фосфора, 31,3 – калия, 0,55 – кальция, 0,5 – магния, 0,7 – серы, 0,09 – бора, 0,08 – меди, 0,016 – железа, 0,16

– марганца, 0,08 – молибдена, 0,09 % цинка. Удобрения вносят в посадочную яму перед посадкой саженцев плодовых и декоративных деревьев и кустарников из расчета 60–80 г; луковичных растений – 80–100 г/м². Для подкормки удобрение разбрасывают на приствольный круг из расчета 30–40 г.

"Кемира плюс" – полностью водорастворимое удобрение, содержащее 14,7 % азота (8,9 % –N–NO₃, 5,8 % – N–NH₄), 5,5 – фосфора, 33,8 – калия, 1,8 – кальция, 2,35 – серы, 0,02 – бора, 0,01 – меди, 0,1 – железа, 0,1 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,01 – цинка, 0,001 % кобальта. Микроэлементы находятся в хелатной форме. Удобрение пригодно для корневых и некорневых подкормок. Для корневых подкормок 20–25 г удобрения растворяют в 10 л воды и этим раствором поливают один раз в неделю. Некорневые подкормки растений производят 1 % водным раствором (10 г на 1 л воды).

Кристалон – водорастворимое удобрение. Наиболее распространенными из этой серии являются:

Кристалон "*Кристал-К*" – универсальное удобрение для улучшения качества плодов; содержит 13,5 % азота и 46 % калия.

"Кристалон желтый" – содержит 13 % азота, 40 – фосфора, 13 – калия, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,024 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка. Рекомендуются для стимулирования развития корневой системы.

"Кристалон голубой" – рекомендуется для рассады и подкормки вегетирующих растений до начала фазы цветения. Содержит 19 % азота, 6 – фосфора, 20 – калия, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

"Кристалон белый" – рекомендуется для усиления цветения и завязи плодов. Содержит 15 % азота, 5 – фосфора, 30 – калия, 3 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

"Кристалон красный" – рекомендуется для усиления плодообразования. Содержит 12 % азота, 12 – фосфора, 36 – калия, 1 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

"Кристалон особый" – рекомендуется для развития вегетативной массы. Содержит 18 % азота, 18 – фосфора, 18 – калия, 3 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

"Кристалон сиреневый" – рекомендуется для применения на почвах с высоким содержанием калия. Содержит 20 % азота, 8 – фосфора, 8 – калия, 2 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

"Кристалон коричневый" – применяется в сочетании с кальциевой селитрой для приготовления сбалансированных питательных растворов, которые вносятся при выращивании растений в закрытом грунте на инертных субстратах (минеральной вате, торфе, песчанике, питательной пленке). Содержит 3 % азота, 11 – фосфора, 38 – калия, 4 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

"Кристалон оранжевый" – рекомендуется для плодовых культур, арбузов и других растений, когда высокое содержание азота нежелательно, например, во время созревания. Содержит 6 % азота, 12 – фосфора, 36 – калия, 3 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

"Кристалон лазурный" – специальная форма для медленно растущих декоративных растений. Применяется также для удобрения рассады, ягод и растений, выращиваемых в контейнерах. Содержит 20 % азота, 8 – фосфора, 8 –

калия, 2 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

Подкормка кристаллоном совмещается с поливом цветочных растений 1–2 раза, овощных и плодово-ягодных культур – 2–4 раза в месяц; расход 20 г/л воды.

При выборе видов кристаллона необходимо обращать внимание на особенности удобряемых растений. Для декоративно-лиственных растений важно либо преобладание азота над фосфором и калием, либо равенство пропорции, тогда как для остальных растений ситуация обратная. Цветущие и плодоносящие растения нуждаются в первую очередь в фосфоре и калии, т. к. эти элементы стимулируют образование цветочных почек и семян, а также обеспечивают хорошую окраску цветов, быстрое созревание семян и плодов. Поэтому, внесение удобрений с высоким содержанием фосфора и калия особенно важно перед цветением. Для этого перед наступлением фазы цветения растений рекомендуется использовать смесь кристаллонов желтого и красного, а после цветения – кристалон белый и особый.

Мастер – растворимое микрокристаллическое удобрение. Благодаря своей способности полностью растворяться, "Мастер" может использоваться в самых сложных ирригационных системах и для некорневых подкормок. Удобрение содержит микроэлементы в хелатной форме ЭДТА (Zn, Cu, Mn, Fe). Каждый вид удобрения выкрашен в свой цвет. В отличие от других аналогичных продуктов, в которых хелатные соединения ЭДТА и ДТПА имеют устойчивость в диапазоне pH от 3 до 5,5, хелаты, используемые в "Мастере", устойчивы в более широком диапазоне значения pH от 3 до 11 (табл. 150).

Таблица 150 – Состав и физические свойства удобрений "Мастер"

NPK +Mg	18.18.18+3	13.40.13	3.11.38+4	15.5.30+2	17.6.18	9.0.46	10.18.32
N _{общ.}	18,0	13,0	3,0	15,0	17,0	9,0	10,0
N _{нитр.}	4,9	3,8	3,0	8,4	5,0	9,0	6,5
N _{аммон.}	3,3	9,2	–	3,6	12,0	–	3,5
N _{амид.}	9,8	–	–	3,0	–	–	–
P ₂ O ₅	18,0	40,0	11,0	5,0	6,0	–	18,0
K ₂ O	18,0	13,0	38,0	30,0	18,0	46,0	32,0
MgO	3,0	–	4,0	2,0	–	–	–
SO ₃	4,0	1,5	10,0	11,0	29,0	10,0	8,0
B	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Fe	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Mn	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cu	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Mo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Внешний вид	порошок	порошок	порошок	порошок	порошок	порошок	порошок
Цвет	голубой	оранжевый	белый	красный	зеленый	белый	белый
Плотность, г/см	0,77	1,11	1,22	0,84	0,98	1,33	1,1
pH (1 % водный р-р)	4,5	4,7	3,1	5,6	5,2	3,5	4,0
Растворимость, г/100сс	55	48	10	30	47	20	15
Влажность, %	0,5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2

Фертигация* производится 0,5–1,5 кг удобрения на 1000 м² в день. В случае, если она не производится ежедневно, доза увеличивается пропорционально количеству пропущенных дней.

Питательные комплексы "Мастер" (NPK + Mg + микроэлементы) отличаются от аналогов более высокой степенью химической чистоты и растворимости, что является решающим фактором эффективности некорневых подкормок. Применяются для коррекции минерального питания растений и повышения урожайности и качества. Вносятся они совместно с пестицидами, не требуя дополнительных затрат. При внесении их с гербицидами снижается стрессовое воздействие последних на культурные растения, не влияя на эффективность подавления сорняков.

МикроМикс – минеральное удобрение. Наиболее распространенными из этой серии являются "МикроМикс-овощи", "МикроМикс-люкс", "МикроМикс-универсал", "МикроМикс-газон".

"МикроМикс-универсал" – предназначен для подкормки рассады, овощных, плодовых, ягодных и цветочных культур в открытом и закрытом грунтах. Содержит 18 % азота, 18 – фосфора, 18 – калия, 2 % магния; микроэлементы: Fe, Mn, Cu, Co, B, Mo, Zn.

Применяют из расчета 20 г удобрения на 10 л воды. Этим раствором подкармливают растения путем полива или опрыскивания: овощные 1 раз в неделю, спустя 2 недели после посадки рассады в грунт, плодовые и ягодные культуры – 2–3 раза за сезон: рано весной, в фазу зеленой завязи и при необходимости через 2 недели после 2-й подкормки, цветочные и декоративные культуры – однолетние 1 раз в 10–15 дней; многолетние 2–3 раза за сезон: рано весной, в фазу бутонизации и после цветения.

"МикроМикс-люкс" – предназначен для подкормки рассады овощных, ягодных и цветочных культур, а также декоративных деревьев, кустарников и многолетних цветочных культур. Содержит 12 % азота, 35 – фосфора, 12 – калия, 2 % магния; микроэлементы: Fe, Mn, Cu, Co, B, Mo, Zn.

Применяют водный раствор – 20 г удобрения на 10 л воды, которым подкармливают растения один раз в неделю путем полива под корень, через системы капельного полива или опрыскивания. Нормы расхода рабочего раствора – общепринятые.

"МикроМикс-овощи" – предназначен для подкормки овощных культур. Содержит 9 % азота, 15 – фосфора, 30 – калия, 2 % магния; микроэлементы: Fe, Mn, Cu, Zn, B, Co, Mo.

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Этим раствором подкармливают растения путем полива: томаты, перцы, огурцы – 1 раз в неделю, начиная через 10–15 дней после высадки рассады в грунт; лук – 2–3 раза за вегетацию; морковь свеклу, сельдерей 2 раза через 10–15 дней после прореживания, в фазу 3–4 пар настоящих листьев (начало формирования корнеплода); картофель – 1–2 раза (через 2 недели после появления всходов и в фазе бутонизации).

"МикроМикс-газон" – предназначен для подкормки газонов, спортивных кортов, лужаек и поддержания травостоя в здоровом состоянии. Содержит 20 % азота, 5 – фосфора, 20 – калия, 3 % магния; микроэлементы Fe, Mn, Cu, Co, B, Mo, Zn.

Растворяют 20 г удобрения в 10 л воды и поливают газоны: 1 раз рано весной, затем после каждого скашивания травостоя. Подкормки проводить до середины августа.

* внесение удобрений с поливной водой

Покоп. Поставщиком удобрений серии "Покоп" на российский потребительский рынок является фирма "Покоп-Крисал" (Голландия). Ассортимент выпускаемой фирмой продукции включает:

Удобрение для балконных и террасных растений с содержанием 18 % азота, 6 – фосфора, 12 – калия, 0,04 – железа, 0,02 – бора, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 – меди, 0,004 % цинка. Норма расхода 300 г удобрения на 75 л горшечного грунта.

Удобрение для садовых растений с содержанием 18 % азота, 6 – фосфора, 12 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 1 кг на 40 м².

Суперудобрение длительного действия для хвойных растений. Содержит 19 % азота, 6 – фосфора, 21 – калия, 3 % магния. Норма расхода 1 кг на 57 растений или на 20 м².

Суперудобрение длительного действия для роз. Содержит 20 % азота, 17 – фосфора, 17 % калия. Норма расхода 1 кг на 20 м².

Удобрение для газона с содержанием 20–30 % азота, 5–8 – фосфора, 7–8 % калия, 4 % магния. Норма расхода 1 кг на 50 м².

Удобрение для рододендронов и гортензий – содержит 19 % азота, 6 – фосфора, 26 % калия. Норма – 35–40 г на 1 растение.

Удобрение для комнатных растений. Содержит 17 % азота, 7 – фосфора, 13 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 300 г удобрения на 75 л горшечного грунта.

Удобрение для роз. Содержит 9 % азота, 9 – фосфора, 9 – калия, 3 % магния. Норма расхода 1 кг на 20 м².

Удобрение для томатов с содержанием 8 % азота, 5 – фосфора, 8 – калия, 10 % магния. Норма расхода 1 кг на 15 м².

Удобрение для клубники с содержанием 4 % азота, 6 – фосфора, 12 – калия, 8 магния. Норма расхода 1 кг на 25 м².

Удобрение для хвойных растений со средством от потемнения. Содержит 5 % азота, 9 – фосфора, 16 – калия, 4 – магния + 15 % английской соли. Норма внесения – 0,9 кг удобрения и 0,1 кг средства от потемнения на 1 дерево.

Удобрение для горшечных растений "Экстра". Содержит 8 % азота, 3 – фосфора, 5 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 300 г удобрения на 75 л горшечного грунта.

Удобрение для цветущих растений "Экстра". Содержит 5 % азота, 5 – фосфора, 7 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,020 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 10 мл на ½ л воды.

Унифлор. Из серии удобрений торговой марки "Унифлор" следует отметить следующие: "Унифлор-рост", "Унифлор-бутон", "Унифлор-кактус", "Унифлор-микро", "Унифлор-микро-Pro". В состав этих удобрений входят две группы элементов. Группа А, помимо необходимых растениям макроэлементов, содержит в своем составе железо, марганец, бор, цинк, медь, молибден, кобальт, иод и хром. Группа В, помимо названных микроэлементов, включает в свой состав никель, ванадий, литий, селен, титан, вольфрам, бром, натрий и рубидий.

"Унифлор-рост". Минеральное удобрение для комнатных растений и рассады. Содержит 70 г/л азота, 26 – фосфора, 70 – калия, 5 – магния, 6,6 г/л – серы; 533 мг/л – железа, 310 – натрия, 133 – марганца, 100 – бора, 30 – цинка,

27 – меди, 12 – молибдена, 8 – кобальта, 6,7 – иода, 3,3 – никеля, 2,0 – ванадия, 2,0 – лития, 1,9 – хрома, 1,6 – селена, 1,3 – вольфрама, 1,0 – брома, 0,7 – алюминия, 0,02 мг/л – рубидия.

"Унифлор-рост" предназначен для подкормки всех комнатных растений и рассады, а также алоэ, пальм и фикусов. Рабочий раствор готовится из расчета 4–5 г на 10 л воды или 5 мл на 1,5–2,0 л воды. Подкормка производится раствором удобрения 1 раз в 10–15 дней из расчета 1 л/м².

"Унифлор-бутон" – минеральное удобрение для комнатных растений и рассады. Содержит 47 г/л азота, 32 – фосфора, 88 – калия, 5 – магния, 6,6 г/л серы; 533 мг/л – железа, 310 – натрия, 133 – марганца, 100 – бора, 30 – цинка, 27 – меди, 12 – молибдена, 8 – кобальта, 6,7 – иода, 3,3 – никеля, 2,0 – ванадия, 2,0 – лития, 1,9 – хрома, 1,6 – селена, 1,3 – вольфрама, 1,0 – брома, 0,7 – алюминия, 0,02 мг/л рубидия. "Унифлор – бутон" предназначен для подкормки комнатных растений в период бутонизации, цветения и плодоношения. Рекомендован для азалий, лимонов, гипеаструмов и других пышноцветущих и плодоносящих видов, а также на последней стадии выращивания рассады овощных культур для полноценной закладки бутонов.

"Унифлор-микро" – минеральное удобрение, предназначенное для применения в открытом грунте, парниках и теплицах для составления полноценных питательных смесей и проведения некорневых подкормок; содержит 25 г/л азота, 15 – магния, 19,8 г/л серы; 3200 мг/л железа, 2400 – натрия, 1600 – марганца, 1200 – бора, 80 – иода, 40 – никеля, 24 – ванадия, 24 – лития, 22 – хрома, 19 – селена, 8 – вольфрама, 12 – брома, 1,8 – алюминия, 0,24 мг/л рубидия. "Унифлор – микро" совместим с любыми удобрениями и может использоваться для приготовления питательных смесей с любыми требуемыми соотношениями азота, фосфора и калия.

"Унифлор-кактус" – минеральное удобрение, специально сбалансированное для выращивания кактусов и других видов суккулентов, содержащее хелатированный кальций для гармоничного развития игл и опушений. Содержит 25 мг/л азота, 31 – фосфора, 77 – калия, 0,7 – магния, 0,9 – серы, 2,7 – кальция; 533 – железа, 310 – натрия, 133 – марганца, 100 – бора, 30 – цинка, 27 – меди, 12 – молибдена, 8 – кобальта, 6,7 – иода, 3,3 – никеля, 2,0 – ванадия, 2,0 – лития, 1,9 – хрома, 1,6 – селена, 1,3 – вольфрама, 1,0 – брома, 0,7 – алюминия, 0,02 мг/л рубидия.

"Унифлор-микро-Prof" содержит 10000 мг/л железа, 2500 – марганца, 1800 – бора, 560 – цинка, 498 – меди, 224 – молибдена, 150 – кобальта, 124 – иода, 62 – никеля, 37 – ванадия, 37 – лития, 35 – хрома, 30 – селена, 25 – вольфрама, 19 – брома, 12 – алюминия, 0,36 мг/л рубидия. Совместим с любыми макроудобрениями; используется для приготовления полноценных питательных смесей с требуемыми параметрами азота, фосфора и калия.

"Унифлор-зеленый лист" – специальное удобрение с высоким содержанием азота и микроэлементов, предназначенное для зеленолистных комнатных растений и обеспечивающее быстрый и качественный рост зеленой массы.

"Унифлор-цветок" – специальное удобрение с высоким содержанием калия и микроэлементов, предназначенное для цветущих комнатных растений и обеспечивающее быстрый рост и обильное цветение.

"Унифлор-пестрый лист" – специальное удобрение с оптимальным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, предназначенное для пестролистных комнатных растений и обеспечивающее быстрый рост декоративной листвы.

При внесении в почву смесей макроэлементов в виде простых солей в почвенном растворе происходят химические реакции, приводящие к образованию нерастворимых соединений. В результате этого часть микроэлементов переходит в недоступные для растений формы. Для предотвращения этого процесса микроэлементы, за исключением бора, иода, селена, брома и рубидия, в состав удобрений серии "Унифлор" вводятся в виде хелатов. Это обеспечивает длительный срок хранения питательного раствора, что особенно важно при использовании гидропонных технологий или искусственных грунтов.

Для всех видов удобрений рабочий раствор готовят из расчета 2,5–3 мл препарата на 1 л воды. В период интенсивного роста подкормку производят рабочим раствором 1 раз в 10–15 дней в количестве, необходимом для нормального увлажнения земляного кома, как при обычном поливе. В осенне-зимний период при умеренном росте подкормку проводят реже. Для видов растений, вступающих в состояние покоя (обычно зимой), в этот период подкормки нежелательны. Для открытого грунта норма расхода рабочего раствора 1 л/м². Рабочий раствор удобрения для гидропоники используется в качестве питающего.

Бороплюс – жидкое удобрение, содержащее 11 % бора. Благодаря жидкой форме, питательный комплекс Бороплюс, содержащий бор в органической форме (в соединении с этаноламином), высокоэффективен как при некорневых подкормках растений, так и при использовании в системах капельного полива.

Рекомендации фирмы-производителя по применению удобрения "Бороплюс":

Культура	Норма, фаза развития растений
Виноград	75–110 мл/гл* до цветения 75–110 после завязи
Груша	45–60 мл/гл при цветении 30 % цветков 45–80 мл/гл при цветении 60 % цветков 45–80 мл/гл в период плодообразования
Яблоня	45–60 мл/гл в начале цветения, 45–80 мл/гл цветение, 45–80 мл/гл после завязывания плодов
Цитрусовые	110–150 мл/гл до цветения, 110–150 мл/гл после завязывания плодов
Персик, нектаринки	80–110 мл/гл после опадания лепестков,
Слива, черешня	80–110 мл/гл после завязывания плодов
Оливы	180–220 мл/гл до цветения, 180–220 мл/гл после завязывания плодов
Сахарная свекла	0,5–1 л/га в фазу 4–6 листьев, 0,5–1 л/га через 20–25 дней, 0,5–1,0 л/га за 20 дней до уборки 0,75 – 1 л/га в начале цветения
Подсолнечник, рапс, кукуруза, хлопок, арахис	
Морковь, редис, сельдерей, цветная капуста	150–180 мл/гл в фазу 4–6 листьев. 150–180 мл/гл через 20–25 дней
Томаты, сладкий перец, баклажан, клубника, арбуз, кабачки, тыква	110–150 мл/гл в начале цветения
Хризантемы, розы, азалии, камелии, декоративные растения	75–110 мл/гл перед формированием бутона растения

* гл – гектолитр (100 л)

Брексил – полный ряд отдельных питательных микроэлементов, на основе лигнинполикабоксиловой кислоты, специально разработанный для предотвращения дефицита микроэлементов при фертигации и некорневых подкормках растений.

Фертигация: 8–12 кг/га. При внесении удобрений Брексил Fe и Брексил Mn нельзя превышать норму 150 г/гЛ для тепличных растений, а Брексил Zn – не превышать дозу 100 г/гЛ. Груши, абрикосы, киви – не обрабатывать после того, как плод вырастет наполовину. Не смешивать с веществами, содержащими кальций без предварительного тестирования.

Гидромикс – микроудобрение, содержащее бор, медь, железо, марганец, цинк, молибден. Применяется для стимулирования всхожести и энергии прорастания семян, увеличения сопротивляемости растений к болезням и неблагоприятным погодным условиям в начальные фазы роста.

В состав Гидромикса входят: B – 0,65; Cu (ЭДТА) – 0,27; Fe (ЭДТА) – 0,70; Fe (ЭДТА) – 6,30; Mn (ЭДТА) – 3,30; Zn (ЭДТА) – 0,60; Mo – 0,20 %. Хелатные формы микроэлементов хорошо совмещаются с протравителями семян и не закрепляются в почве. Его применение совмещается с централизованным протравливанием семян полусухим методом, с использованием машин типа ПС–10.

Микрасса – универсальное микроудобрение для обработки семян и посадочного материала, подкормки в период вегетации цветочно-декоративных растений, газонов, овощных и плодово-ягодных культур.

Микроудобрение Микрасса производится на основе чистых солей микроэлементов (бор, медь, цинк, молибден, кобальт, марганец, иод) без наполнителей. Препарат одновременно стимулирует и обеззараживает семена, питает проростки микроэлементами и предотвращает их гибель от корневых гнилей на ранних стадиях развития. Выпускается в таблетках, что исключает передозировку и позволяет готовить слабоконцентрированные растворы, из которых микроэлементы легче и быстрее проникают внутрь клеток через оболочку семян и листовую поверхность и полностью усваиваются растениями, не вызывая ожогов.

Семена замачивают в Микрассе (1 таблетка или 0,2 г на 0,5 л воды) в течение 12 ч и высевают, не подсушивая. Для мелких семян замачивание заменяется мелкодисперсным поливом сразу же после посева до мульчирования. Некорневые подкормки рассады (1 таблетка или 0,2 г на 2–10 л воды) проводятся дважды: первый раз в фазе 1–2 настоящих листьев, второй – за неделю до высадки рассады на постоянное место.

Микрассу можно применять и в качестве добавки к азотным, фосфорным, калийным удобрениям, гуматам и стимуляторам роста (гетероауксину), а также антистрессовым препаратам (эпину, иммуноцитифиту). Это повышает усвояемость растениями макроэлементов из удобрений.

Тенсо-коктейль – содержит полный набор микроэлементов. Поставщиком этого удобрения является норвежская фирма "Норск-Гидро". Используется оно для некорневых подкормок в период вегетации растений. Применяют его 3 раза за период вегетации, обеспечивая сбалансированное питание растений микроэлементами.

Хелафарм. Удобрения серии *Хелафарм* представляет ряд ЭДТА хелатных растворимых элементов в микрогранулах. Различают: Хелафарм кальций (10 %), Хелафарм медь (15 %), Хелафарм железо (13 %), Хелафарм магний (6 %), Хелафарм марганец (13 %), Хелафарм цинк (15 %). Эти удобрения особенно эффективны, когда вносятся в прикорневую зону во время посадки или в почву с помощью капельного полива или дождеванием. Нормы применения зависят от масштабов дефицита, климата, типа почвы и способа внесения (табл. 151, 152).

Таблица 151 – Фертигация удобрениями серии Хелафарм

Культуры	Хела-фарм кальций	Хела-фарм медь	Хела-фарм железо	Хела-фарм магний	Хела-фарм марганец	Хела-фарм цинк
Цитрусовые			25–150 г/раст.	30–50 г/раст.	30–100 г/раст.	30–100 г/раст.
Яблони, груши			25–150 г/раст.	30–50 г/раст.	30–70 г/раст.	30–70 г/раст.
Виноград, киви			10–25 г/раст.	10–20 г/раст.	10–25 г/раст.	10–25 г/раст.
Розы			5–10 г/раст.	5–10 г/раст.	10–25 г/раст.	5–10 г/раст.
Полевые культуры	6–10 кг/га	6–10 кг/га	6–10 кг/га	6–10 кг/га	6–10 кг/га	6–10 кг/га

Таблица 152– Проведение некорневых подкормок удобрениями серии Хелафарм

Культуры	Хелафарм кальций	Хела-фарм медь	Хела-фарм железо	Хела-фарм магний	Хела-фарм марганец	Хела-фарм цинк
Цитрусовые	От образования завязи 100 г/гл* каждые 15–20 дней	100 г/гл	100 г/гл	100 г/гл	100 г/гл	100–150 г/гл
Косточковые	От образования завязи 80–100 г/гл каждые 15–20 дней	80–100 г/гл	80–100 г/гл	80–100 г/гл	70–100 г/гл	80–100 г/гл
Яблоня, груша	От образования плода 100 г/гл каждые 15–20 дней	100 г/гл	100 г/гл	100 г/гл	100 г/гл	100–130 г/гл
Виноград, киви	100 г/гл каждые 15–20 дней	100 г/гл	80–100 г/гл	100 г/гл	70–100 г/гл	80–100 г/гл
Овощи	50–80 г/гл	70–100 г/гл	50–100 г/га	75–100 г/гл	100 г/гл	70–100 г/гл
Злаковые		1–1,5 кг/га	1 кг/га	1–1,5 кг/га	1–2 кг/га	1–1,5 кг/га
Декоративные культуры			50–100 г/га			
Соя		1–1,5 кг/га			1–1,5 кг/га	1–1,5 кг/га
Хлопок		1–1,5 кг/га			1–1,5 кг/га	1–1,5 кг/га

* гл – 100 литров

Удобрения фирмы "КОМПО". *Басфолиар Комби-Стип* – азотно-кальциевое удобрение, предназначенное для некорневой подкормки растений. Удобрение препятствует распространению таких заболеваний, как горькая ямчатость (подкожная пятнистость) плодов и пятнистость листьев яблонь. Содержит: N – 9 %; Ca – 10,7; B – 0,2; Mn – 0,4; Zn – 0,01 %. Марганец и цинк находятся в виде хелатных соединений.

Фетрилон Комби-1 – водорастворимое удобрение, используется для компенсации недостатка микроэлементов у полевых и плодово-овощных культур. Содержит: Fe – 4,0 %; Cu – 1,5; MgO – 9; Mn – 4,0; Zn – 1,5; B – 0,5 и Mo – 0,15 %. Железо, медь, марганец и цинк находятся в виде хелатных соединений. Благодаря высокому содержанию железа это удобрение используется для борьбы с хлорозом растений. Применяется путем некорневых подкормок.

Нитрофоска Фолиар – комплексное удобрение в жидкой форме, применяется в полеводстве, садоводстве для некорневой подкормки растений в период их вегетативного роста. Особенно эффективно это удобрение в садоводстве. Содержит: N – 10,0 %; P – 4,0; K – 7,0; MgO – 0,02; S – 0,7; Mn – 0,01; Fe – 0,02; Zn – 0,002; B – 0,01 и Mo – 0,001 %. Микроэлементы находятся в хелатированной форме.

Нитрофоска Солуб – концентрированное легко растворимое минеральное удобрение с различным содержанием NPK (15–10–15 и 8–12–24). Оно содержит дополнительно магний, серу и микроэлементы в хелатированной форме. Хлор содержится в незначительных количествах (< 1 %). Нитрофоска Солуб, как и Нитрофоска Фолиар, не заменяет основного удобрения почвы, а является дополнительной эффективной мерой для стимулирования обмена веществ и компенсации недостатка макро- и микроэлементов на отдельных этапах вегетации растений, особенно до и после цветения растений.

Нитрофоска Солуб (8–12–24) содержит: N – 8,0 %; P – 12,0; K – 24,0; Mg – 4,0; S – 12,0; Fe – 0,05; B – 0,011; Cu – 0,019; Mn – 0,055; Zn – 0,0195; Mo – 0,001 %.

Нитрофоска Солуб (15–10–15) содержит: N – 15,0 %; P – 10,0; K – 15,0; Mg – 2; Fe – 0,05; B – 0,011; Cu – 0,019; Mn – 0,055; Zn – 0,019; Mo – 0,001 %.

Хортисул – растворимое калийное удобрение на сульфатной основе с низким содержанием хлора. Используется для некорневой подкормки всех сельскохозяйственных культур, с целью их обеспечения калием, главным образом, до и во время цветения, когда растения испытывают небольшую потребность в нем, а также при засухе, когда отмечается ограниченное поступление калия из почвы. Хортисул содержит: K – 52,0 % и S – 18,0 %.

Удобрения фирмы "ФАСКО". *Бордо* – высокоэффективное азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания столовой свеклы. Содержит: 13 % азота, 16 – фосфора, 18 % калия, магний, натрий, серу, бор.

Газон – специально разработанное комплексное удобрение для газонов, спортивных травянистых полей, кортов, лугов. Содержит: 20 % азота, 10 – фосфора, 10 % калия. Применяется при подготовке почв к закладке газонов, для подкормки газонов в период вегетации растений.

Для луковичных (лук и чеснок) – удобрение, предназначенное специально для выращивания луковичных растений. Содержит: 7 % азота, 9 – фосфора, 12 – калия, 3 % магния. Применяется в качестве основного удобрения, подкормок и при подготовке почвы к высадке растений.

Для хвойных растений – специально разработанное высокоэффективное удобрение для ухода за хвойными деревьями (можжевельник, туя, ель, сосна, кипарис). Содержит: 10–17 % азота, 8–20 – фосфора, 20–22 – калия, 1 – маг-

ния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка. Удобрение также может использоваться для подкормки других декоративных культур: бересклет, кизильник, чубушник, рододендрон и др. Применяется в качестве основного удобрения при подготовке почвы к высадке растений и для проведения прикорневых подкормок.

Зелень – высокоэффективное азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания зеленных культур: салата, укропа, кинзы, огуречной травы, петрушки, сельдерея, лука и чеснока. Содержит: 7 % азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 2 % магния.

Кабачок – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания кабачков, патиссонов и других тыквенных растений. Содержит: 9 % азота, 13 – фосфора, 15 – калия, 3 % магний.

Капуста – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания капусты. Содержит: 11 % азота, 12 – фосфора, 12 – калия, 3 % магния.

Картофель – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания картофеля. Содержит 13 % азота, 19 – фосфора, 19 % калия. Применяется это удобрение под основную обработку почвы, при посадке и прикорневых подкормках.

Морковь – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания моркови. Содержит: 14 % азота, 15 – фосфора, 18 % калия, кроме того, в удобрение входят магний, натрий, хлор.

Рододендрон – смешанное органико-минеральное гранулированное удобрение, содержащее 7 % азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 3 % магния. Применяется в качестве основного удобрения при посадке многолетних цветочно-декоративных культур, предпочитающих кислые почвы, и для подкормок в период их вегетации растений.

Глория – водорастворимое удобрение, разработанное специально для подкормки цветущих и декоративных кустарников роз, сирени, чубушника, калины. Содержит 7–14 % азота, 7–11 – фосфора, 8–24 – калия, 1–3 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Для гортензии – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных элементов, необходимых для полноценного роста и развития гортензий, как в комнатных условиях, так и в открытом грунте. Содержит 14 % азота, 11 – фосфора, 24 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Для декоративно-лиственных культур – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, предназначено для некорневой подкормки растений, выращиваемых как в защищенном, так и в открытом грунте. Содержит 17 % азота, 17 – фосфора, 17 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Клубника – водорастворимое удобрение, предназначенное для основного внесения и подкормок земляники, клубники и других ягодных культур. Содержит 17–20 % азота, 10–17 – фосфора, 10–17 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Крепыши – водорастворимое удобрение, специально разработанное для выращивания рассады овощных и цветочно-декоративных культур. Содержит 17 % азота, 8 – фосфора, 22 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Мальшюк – водорастворимое удобрение, содержащее все элементы питания, необходимые для выращивания томатов, перцев и баклажанов. Содержит 11–14 % азота, 6–15 – фосфора, 15–29 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,001 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Оазис – водорастворимое удобрение, специально разработанное для пальм, драцен, фикусов, фатсий и монстер. Содержит 6–14 % азота, 4–11 – фосфора, 7–24 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Растворин – водорастворимое удобрение, предназначенное для подкормки рассады, овощных, плодово-ягодных, цветочно-декоративных культур в открытом и защищенном грунтах. Содержит 17 % азота, 17 – фосфора, 17 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,001 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Родничок – водорастворимое комплексное удобрение, содержащее необходимые элементы питания для выращивания огурцов. Содержит 8–9 % азота, 13–20 – фосфора, 15–25 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,001 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Цветочное – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных элементов, необходимых для роста и развития однолетних и многолетних цветочных культур, а также декоративных цветущих кустарников, выращиваемых на любых типах почв. Содержит 7–12 % азота, 6–7 – фосфора, 8–29 – калия, 1–3 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Цветы – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных веществ. Содержит 17 % азота, 17 – фосфора, 17 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Весеннее – водорастворимое удобрение, специально разработанное для подкормки овощных, плодово-ягодных и цветочно-декоративных культур в начале вегетативного периода. Содержит: 20 % азота, 10 – фосфора, 10 % калия.

Летнее – удобрение, специально разработанное для подкормки овощных, плодово-ягодных и цветочно-декоративных культур в летний период. Содержит 13 % азота, 16 – фосфора, 18 % калия, + магний.

Осеннее – удобрение, специально разработанное для подкормки растений в конце вегетативного периода, что особенно важно для многолетних культур. Содержит 5 % азота, 15 – фосфора, 35 % калия.

Гомельское удобрение – смешанное азотно-фосфорно-калийное удобрение для применения под все выращиваемые культуры. Содержит 15 % азота, 15 – фосфора, 15 % калия.

Для декоративных кустарников – смешанное органико-минеральное, гранулированное удобрение. Содержит: 7 % азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 3 % магния.

Для плодово-ягодных кустарников – высокоэффективное удобрение, специально разработанное для основного внесения при посадке плодово-ягодных деревьев и кустарников, а также для подкормки в период их вегетации. Содержит: 11 % азота, 12 – фосфора, 12 % калия.

Огородная №5 – удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных веществ. Содержит 6 % азота, 9 – фосфора, 9 % калия.

Плодово-ягодная №7 – удобрение, специально разработанное для основного внесения при посадке плодово-ягодных деревьев и кустарников, а также для подкормки их в период вегетации. Содержит 8 % азота, 4 – фосфора, 13 – калия, 0,5 – магния, микроэлементы.

Предпосадочная №1 – удобрение, специально разработанное для подготовки почвы к посадке растений. Рекомендуется использовать под плодово-ягодные культуры: яблони, груши, сливы, вишню, малину, смородину, крыжовник, клубнику и землянику, цветы и декоративные растения, овощные культуры: помидоры, огурцы, картофель, капусту, лук, чеснок, петрушку, хрен, спаржу, сельдерей и др. Содержит 12 % азота, 6 – фосфора, 6 % калия.

Смесь по Миттлайдеру № 1 – предназначена в качестве составной части предпосадочного удобрения при выращивании культур по методу доктора Миттлайдера. Смесь №1 можно использовать также, как бор-кальциевое удобрение в традиционном выращивании садово-огородных культур. Содержит 55 % кальция, 0,14 % бора.

Смесь по Миттлайдеру №2 – предназначена для подкормок при выращивании культур по методу доктора Миттлайдера и как составная часть предпосадочного удобрения (к смеси №1). Содержит 14,9 % азота, 8,1 – фосфора, 14,9 – калия, 3 % магния, кроме того, бор, молибден.

Урожай Super – концентрированное универсальное удобрение. Содержит 9 % азота, 13 – фосфора, 15 – калия, 3 % магния.

Для бегоний – концентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и развития как цветущих, так и декоративно-лиственных бегоний. Содержит 4 % азота, 3 – фосфора, 15 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Тропик – концентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и развития кактусов и суккулентов. Содержит 4–8 % азота, 3–20 – фосфора, 6–52 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект весна – высококонцентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и развития растений овощных и плодово-ягодных культур, выращиваемых как в защищенном, так и в открытом грунте. Содержит 10 % азота, 5 – фосфора, 5 – калия, 0,1 – магния, 0,1 – серы, 0,005 – бора, 0,01 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект лето – высококонцентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и плодоношения овощных и плодово-ягодных культур, выращиваемых как в защищенном, так и в открытом грунте. Содержит 5 % азота, 10 – фосфора, 5 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект осень – высококонцентрированное универсальное удобрение, подготовленное специально для подкормки многолетних растений в конце вегетативного периода. Содержит 2 % азота, 7 – фосфора, 7 – калия, 0,1 – магния, 0,1 – серы, 0,005 – бора, 0,01 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект цветочный – высококонцентрированное жидкое удобрение. Содержит 5 % азота, 10 – фосфора, 5 – калия, 0,1 – магния, 0,1 – серы, 0,005 – бора, 0,01 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка. Прекрасно подходит для подкормки всех комнатных растений, в том числе бегоний, азалий, сенполий, роз, жасминов, папоротников, цитрусовых, пальм и других тропических культур. Допустимо использовать для подкормки плодово-ягодных культур.

Цитовит – содержит полный набор элементов питания: общего азота – 30 г/л, фосфора – 5, калия – 25 г/л; микроэлементов: магния –10 г/л, серы –

40, железа – 35, марганца – 30, бора – 8, цинка и меди по 6, молибдена – 4, кобальта – 2 г/л. Цитовит предназначен для замачивания семян и подкормки растений. Замачивание семян овощных и цветочно-декоративных культур проводят в течение 10–12 ч в рабочем растворе, содержащем 1,5 мл цитовита в 1,5 л воды. Картофель, луковицы овощных культур, луковицы и корневища цветов опрыскивают или погружают в такой же раствор – 1,5 мл/1,5 л воды. Можно проводить некорневую подкормку растений, деревьев и кустарников, опрыскивая раствором микроудобрения: огурцы, томаты – 1 раз, в 2 недели раствором, содержащем – 1,5 мл цитовита в 3 л воды; цветочно-декоративные культуры – 2 раза до фазы бутонизации – 1,5 мл на 1,5 л воды; земляника – после схода снега и в период бутонизации – 1,5 мл на 1,5 л воды; плодово-ягодные деревья и кустарники в период бутонизации, после образования завязей и после сбора урожая раствором, содержащим 1,5 мл цитовита в 1,5 л воды. Расход в зависимости от вида культуры и вегетативной массы: овощные, однолетние цветочные и земляника – 1–1,5 л/10 м²; малина, смородина и другие кустарники – 1,5–2 л на куст, плодовые деревья – 1 л на молодое и 2–3 л на взрослое дерево. Полив рассады после пикировки и укоренения – раствором, содержащим 1,5 мл Цитовита в 2 л воды. Цветочные и декоративные растения комнатного цветоводства и на балконах: полив или опрыскивание 3–4 раза в год – 1,5 мл/2 л воды.

7.4.2. Мелиоранты и ландшафтные материалы фирмы ФАСКО

При выращивании растений нельзя забывать о формировании и поддержании оптимальной структуры почвы. Многие культуры не любят кислые или тяжелые почвы, участки, предрасположенные к застаиванию воды, а некоторые растения наоборот. Специально для формирования подходящей им структуры почвы, фирма Фаско производит различные мелиоранты и ландшафтные материалы.

Доломитовая мука – предназначена для известкования кислых почв и обогащения их кальцием и магнием. Содержание доступных для растений питательных элементов: кальций + магний – 88 %.

Дренаж керамзитовый мелкий – необходим при выращивании цветочно-декоративных растений в горшках, вазонах и контейнерах большой емкости, для формирования альпийских горок и выращивания растений гидропонным способом. Обеспечивает циркуляцию питательных веществ и способствует гармоничному развитию корневой системы.

Эти материалы рекомендуется использовать при ландшафтных работах для декоративного оформления бассейнов, аквариумов, каменных японских садиков, альпийских горок, дорожек в зимних садах, а также на дачных участках.

Известняковая мука – предназначена для известкования кислых почв и обогащения их кальцием и магнием. Содержание доступных для растений питательных элементов: кальций + магний – 88 %.

Мраморный щебень – обеспечивает циркуляцию питательных веществ и способствует гармоничному развитию корневой системы. Мраморный щебень рекомендуется использовать при ландшафтных работах для декоративного оформления бассейнов, аквариумов, каменных японских садиков, альпийских горок, дорожек в зимних садах и на дачных участках.

Песок – необходим при выращивании цветочно-декоративных растений в горшках, вазонах и контейнерах большой емкости, для формирования альпийских горок и выращивания растений гидропонным способом. Обеспечивает

циркуляцию питательных веществ и способствует развитию корневой системы. Песок, кроме того, рекомендуется использовать при ландшафтных работах для декоративного оформления бассейнов, аквариумов, каменных японских садиков, альпийских горок, дорожек в зимних садах и на дачных участках.

7.4.3. Органо-минеральные удобрения

Апион – удобрение, содержащее питательные вещества, которые, взаимодействуя с почвой в сфере корнеобитания, обеспечивают выделение в почву сбалансированного комплекса макро- и микроэлементов, биологически активных веществ в соответствии со скоростью потребления их растениями. Удобрение вносится вблизи корневой системы. Существует целая серия марок этого удобрения, среди которых наиболее широко распространены "Апион-3", "Апион-6", "Апион-30" и "Апион-50". Удобрения серии "Апион" применяются под различные культуры в открытом грунте и для горшечной культуры.

БИУД – быстродействующее органическое удобрение, произведенное на основе коровьего навоза, прошедшего биотермическое обеззараживание при температуре 53–57°C без доступа воздуха в течение 7–10 дней.

Основные особенности биоудобрения БИУД состоят в том, что оно обеззаражено в процессе изготовления без применения химических добавок; усваивается растением с момента внесения, предоставляя ему питание в сбалансированном виде; содержит стимуляторы роста растений, образующиеся при переработке навоза и птичьего помета; не содержит семян сорняков; улучшает структуру почвы и снижает ее кислотность; способствует размножению полезных почвенных микроорганизмов; улучшает приживаемость растений и их способность переносить неблагоприятные условия окружающей среды.

Применяют суперкомпост БИУД для проведения прикорневых подкормок комнатных цветов: жидкая подкормка – 20 г/0,5 л воды. Полив производится не чаще одного раза в месяц из расчета 150–200 мл/растение; сухая подкормка – 20 г/кг предварительно разрыхленной почвы, после внесения подкормки полив обязателен. Подкормка производится не чаще одного раза в месяц.

Пикса. Суперкомпост пикса содержит 3,5–5,6 % азота, 2,1–4,1 – фосфора, и 2,0–3,2 % калия. Торф и помет, используемый для его приготовления, подвергнуты биотермическому обеззараживанию, что практически полностью исключает попадание в суперкомпост пикса бактериальных инфекций.

Пикса рекомендуется для внесения в почву в качестве основного удобрения перед посадкой и в качестве подкормки комнатных цветов, овощных, плодовых и ягодных культур. Основное удобрение вносят равномерно на поверхность почвы и заделывают его на глубину максимального распространения корневой системы. Норма 5–10 кг на 100 м². На торфяных почвах вместе с пиксой рекомендуется добавлять почву более тяжелого гранулометрического состава в равном количестве или 10–20 % от рекомендуемой нормы минеральные удобрения.

Припосевное удобрение вносится в почву с последующим перемешиванием и заделкой: овощные – в лунки по 10–15 г, в рядки 25–50 г на погонный метр; плодовые в посадочные ямы 0,5–0,7 кг.

Для использования в качестве подкормки предварительно готовят рабочий раствор: разводят 400–500 г удобрений на 8–10 л воды. Подкормка овощных культур производится 3–5 раз за вегетационный период – 0,5–0,75 л раствора на растение; плодовых – 10–20 л на дерево 3–4 раза за сезон. Для подкормки комнатных цветов и выращивания рассады суперкомпост пикса можно использовать в качестве подкормки как в сухом, так и в жидком виде. При жид-

кой подкормке цветов используют 20 г удобрения на 0,5 л воды. Расход раствора удобрения 150–200 мл/растение. Можно вносить поверхностно 5–10 г удобрения на 1 кг почвы с обязательной последующей заделкой и поливом.

Рисовое – органо-минеральное удобрение на основе низинного торфа. Содержит 7,8 % азота, 10,9 – фосфора, 8,4 – калия, 1,4 – магния, 0,8 – цинка, 0,05 % молибдена. Изготовитель – Буйский химический завод (Россия, Костромская область) Ориентировочная норма внесения под рис 200–250 кг/га.

Корневая смесь – удобрение, содержащее обеззараженный куриный помет, полный комплекс органических и структурирующих веществ, макро- и микро-элементов: 4,9 % азота, 2,9 – фосфора, 2,7 – серы, 5,1 – калия, 1,0 – магния, 3,0 – кальция, 0,4 – железа, 0,05 – бора, 0,004 – меди, 0,01 – марганца, 0,08 – цинка, 0,01 – молибдена, до 5,0 – гуматов, до 35,0 % органических веществ.

"Корневая смесь" повышает плодородие и улучшает структуру почвы, способствует формированию гумусового слоя, обеспечивает благоприятный водно-воздушный режим. Внесение корневой смеси в почву способствует развитию почвенных микроорганизмов. "Корневая смесь" обладает слабым раскисляющим действием и не засоляет почву. В отличие от минеральных удобрений, коэффициент использования питательных веществ из "Корневой смеси" составляет 93–95 %. Удобрение обладает длительным действием и имеет гибкие сроки применения.

Если необходимо обеспечить длительное действие (6–8 месяцев), удобрение применяют в сухом виде из расчета 5 г/растение. Корневая смесь при этом равномерно распределяется по поверхности почвы. Перемешивания с почвой не требуется. Для быстрого действия (результат будет замечен через 3–5 дней) 7 г удобрения растворяется в 1 л воды, настаивается в течение 3–5 дней, после чего производится полив из расчета 0,1–0,2 л раствора под растение.

Корнепитатель КП-5; Корнепитатель КП-100 обеспечивают непрерывную контролируемую подачу веществ, необходимых для питания растений, что является одним из важных условий нормального их роста и развития. КП-5 представляет собой устройство в виде пакета-мембраны, площадью 20 см², заполненное питательной смесью, которая содержит: азот, фосфор, калий, магний, цинк, бор, марганец, молибден, железо, медь, гуматы, органические вещества.

Корнепитатель КП-5 дозирует элементы питания в зону корневой системы через корпус-оболочку, т.е. полупроницаемую мембрану постепенно, мягко воздействуя на корневую систему, не допуская повышения концентрации почвенного раствора, которое характерно для традиционных способов подкормки. Мембрана регулирует скорость подачи и количество выделяемых корнепитателем элементов питания в соответствии с потребностью растений и условиями внешней среды.

Пакет-мембрана с питательной смесью КП-5 исключает передозировку и вымывание питательных веществ, что обеспечивает эффективность действия корнепитателя в течение 1,5–2 лет без дополнительных подкормок. КП-5, обеспечивая локальное непрерывное поступление питательных веществ, способствует формированию растениями мощной корневой системы, улучшает приживаемость саженцев, повышает иммунитет растений к болезням, стойкость к неблагоприятным температурным перепадам. Технология применения КП-5 проста: достаточно поместить его, в соответствии с инструкцией, в зону корневой системы растения.

Корнепитатель КП-100 является аналогом КП-5, но отличается от него большим объемом.

Универсал – органо-минеральное гранулированное удобрение на основе нейтрализованного аммонийного низинного торфа (40 %). Изготовитель – Буйский химический завод (Россия, Костромская область). Содержит 7 % азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 1,5 % магния и микроэлементы. Предназначено для полноценного питания цветочно-декоративных растений, овощных и плодово-ягодных культур открытого и защищенного грунтов, а также для выращивания рассады. "Универсал" не содержит хлора и свободных нитрат-ионов. Применение этого удобрения не вызывает подкисления почвы, способствует улучшению ее физических свойств, увеличивает содержание гуминовых кислот. Применяется в качестве основного и припосевного (припосадочного) удобрения, а также для подкормки в период вегетации растений.

Для основного внесения под обработку почвы норма 100 г/м² на окультуренных и 150 г/м² на неокультуренных почвах; под плодовые деревья – 90 г/м² приствольного круга с последующим рыхлением; под ягодные кустарники при рыхлении почвы вносить 60 г/м²; при посадке картофеля и высадке рассады – 20 г в лунку; под многолетние цветочные растения – 80–100 г на посадочную яму. При подкормках: под картофель и овощи – 30 г/м² с последующим рыхлением и поливом; под цветочно-декоративные растения – 50 г/м² с последующим рыхлением; землянику подкармливают ранней весной и после сбора урожая – 30 г на погонный метр рядка. При составлении субстрата (грунта) для выращивания рассады цветочно-декоративных растений и овощных культур удобрение перемешивается с песком, торфом, почвой и остальными компонентами. Норма расхода 10 г на 1 кг субстрата. В парниках и теплицах: ранней весной (или зимой) при подготовке грунтов (перекопка и рыхление) вносить 15 г/м².

7.4.4. Гуминовые удобрения и гуминовые препараты

Гуматы – группа естественных, высокомолекулярных, экологически безопасных регуляторов роста растений. Они не токсичны, не канцерогенны, не вызывают мутаций и не обладают эмбриологической активностью. Остаточные количества гуматов в растениях не обнаруживаются, т. к. они сравнительно легко и быстро включаются в метаболизм.

Гуминовые кислоты обладают разносторонней направленностью действия: активирование биоэнергетических процессов, стимуляция обмена веществ, синтетических процессов, улучшение проникновения элементов питания через плазмалемму, усиление ферментативных систем, повышение адаптационных свойств растительного организма. Структура гуминовых кислот как ароматических соединений с подвижными π -электронами и различными функциональными группами при ядре и боковых цепях, наличии парамагнитных центров, обуславливает их способность к ионному обмену, образованию комплексов, таутомерии, окислительно-восстановительным реакциям и при этом гуминовые кислоты, в зависимости от внешних условий, могут быть весьма стойкими и активными. Благодаря этим свойствам, гуминовые кислоты используются и как удобрение, и как стимуляторы роста растений.

Основной причиной физиологической активности гуминовых кислот считается воздействие их на биоэнергетическую систему растительного организма (Христьяева Л.А., 1973). Повышение энергетических запасов организма способствует активизации синтеза белка, являющегося основным строительным материалом. Эти изменения и создают условия для повышения устойчивости растений в экстремальных режимах, фотосинтетической способности.

Способность гуминовых кислот к комплексообразованию и их сорбционная активность позволяют использовать их для перевода тяжелых металлов в нерастворимые соединения на почвах, зараженных ими. По способности поглощаться гуминовыми кислотами катионы распределяются в следующий ряд: $\text{Cu}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{2+}$. Устойчивость комплексов с ионами различных металлов несколько иная: $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

Механизм взаимодействия гуминовых кислот с катионами металлов различен. Так, ионы кальция при взаимодействии с гуминовыми кислотами образуют солеобразные гуматы кальция, в которых наблюдается типично ионная форма карбоксильных групп. На ион цинка замещаются водородные атомы карбоксильных групп. Фенольные гидроксилы в обменную реакцию с цинком вступают не полностью. При взаимодействии с медью в обменную реакцию вступают как карбоксильные, так и фенольные гидроксилы. Во всех случаях происходит переосаждение гуминовых кислот в виде нерастворимых или малорастворимых в воде солей металлов или их комплексов. Кроме того, гуматы участвуют в формировании почвенной структуры: на легких почвах осуществляют агрегатирование, на тяжелых препятствуют образованию корок и трещин, улучшают аэрацию почвы, ее водоудерживающую и водопропускную способности.

При использовании гуминовых кислот в качестве регуляторов роста растений физиологической активностью обладают не гуминовые кислоты, а их соли одновалентных щелочных металлов и аммония. Это объясняется тем, что гуминовые кислоты не растворимы в воде и не могут поглощаться растениями, в то время как соли одновалентных щелочных металлов и аммония гуминовых кислот хорошо растворяются в воде и становятся доступными для растений.

При использовании гуматов в земледелии отмечается следующее: увеличивается урожайность зерновых, овощных и кормовых культур; повышается всхожесть и энергия прорастания семян; усиливается корнеобразование и обмен веществ у растений, поглощение и потребление элементов минерального питания; улучшается приживаемость рассады и растений при их пересадке; усиливается активность нитратредуктазы и, как следствие, увеличивается сопротивляемость растений болезням, заморозкам и засухе; снижается содержание в почве нитратов, пестицидов, ионов тяжелых металлов и радионуклидов.

Взаимодействие гуминовых веществ с пестицидами представляет собой комплексный процесс. В отдельных случаях исчезновение пестицидов из почвы возможно благодаря процессам иммобилизации, в других – адсорбции. В результате ассимиляции корнями растений комплексов гуминовых молекул с гербицидами может иметь место иммобилизация отдельных пестицидов. Наблюдается усиление ферментативной активности – увеличение активности уреазы, фосфатазы, малатиновой астеразы, отвечающей за деградацию пестицидов.

Используют гуматы трех модификаций: гумат натрия, гумат калия и гумат аммония. Гуматы натрия и калия готовятся путем насыщения соответственно едким калием или натрием. Гумат аммония получают путем обработки сырья аммиачной водой. Наиболее удобно и хорошо согласуется с агротехнологиями жидкая безбалластная форма препарата (5–10 % концентрации). Расход гумата невелик (5 % -й раствор для полива разбавляют в соотношении 1:1000, а для обработки семян – 1:500, и лишь при обработке клубней и семян зерновых культур расход выше – 1:250). Опрыскивание растений в период вегетации осуществляют 2–4 раза.

Агровиткор. Удобрение *Агровиткор* в своем составе имеет торф, птичий помет, природный грунт, биокомпоненты (ноу-хау). По данным производителя, 10–15 кг этого удобрения заменяет 1–1,5 т навоза в зависимости от состоя-

ния почвы. Норма внесения 3–6 кг удобрения на 100 м². Оно эффективнее в несколько раз всех видов органических, в 3–5 раз минеральных удобрений.

Хорошие результаты дает внесение в почву 2,5–6,0 кг/100 м² с последующей заделкой. При посеве семян овощных в лунку вносят 10–15 г или в рядки 25–50 г удобрения на погонный метр. При посадке ягодных культур в посадочные ямы вносят 0,2–0,3 кг удобрения; фруктовых – 0,5–0,7 кг. Для подкормки овощных, ягодных и фруктовых культур 150–200 г удобрения разводят на 8–10 л воды и выдерживают в течение 2–3 ч. Расход рабочей жидкости на овощных культурах – 0,5–0,75 л/растения (3–5 раза за сезон); ягодных – 3–5 л/куст (3,5 раза за период май-июнь); фруктовых 10–20 л/дерево (3–4 раза за период май-июнь).

Для сохранения и воспроизводства плодородия почвы в зависимости от состояния вносится с обязательной заделкой в количестве 3–6 кг/100 м².

Гумат+7 – комплексное органо-минеральное удобрение. Содержит 37 % гумата, 1,5 – азота, 5,0 – калия, 0,6 – бора, 2,0 – железа, 0,02 – кобальта, 0, 04 – марганца, 0,4 % меди.

Его применяют для замачивания семян до наклевывания: 0,5 г препарата растворить в 1 л воды; при корневой подкормке: под каждое дерево (куст) плодовых или ягодных культур вносят 20–40 г удобрения, для овощных культур и земляники – 6–8 г удобрения под каждое растение и обильно поливают водой. При некорневой подкормке 3–4 г удобрения разводят в 10 л воды и обрабатывают растения из расчета 2 л рабочего раствора на 1 м². Осенью рекомендуется полив всех плодовых и ягодных насаждений для их благополучной зимовки – 6–8 г препарата на 10 л воды. Производят полив комнатных растений в период их активного роста 3–4 раза с интервалом 10–15 дней.

Удобрение **Гуми-30** – 30 %-ная водная паста для индивидуальных хозяйств. Содержит 60 % гумата натрия в пересчете на сухое вещество, 0,5–2,0 % азота, 0,5–2,0 – фосфора, 0,1–1,0 % калия и микроэлементы природного происхождения. Ускоряет созревание плодов и повышает продуктивность растений. Применяют Гуми-30 в виде водного раствора, который готовят путем растворения 300 г удобрения в 0,6 л воды. Весеннее и осеннее обогащение 1 м² почвы или компоста гуминовыми веществами – 15 мл рабочего раствора на 10 л воды. Для повышения всхожести и активного роста рекомендуется предпосевное замачивание семян.

Норма расхода рабочего раствора на 100 г семян – 100 мл воды + 2 капли маточного раствора. Для ускорения укоренения рассады и черенков эффективно 12–24 часовое замачивание в растворе удобрения из расчета 20 капель маточного раствора на 1 л воды. Полив и опрыскивание комнатных растений и цветов рекомендуется проводить каждые 2 недели (4 капли маточного раствора на 200 мл воды); полив и опрыскивание садово-огородных растений – каждые 2 недели (15 мл маточного раствора в 10 л воды на 2 и 100 м² соответственно); предпосадочная обработка (обмакивание) 10 кг клубней картофеля (65 мл маточного раствора на 1 л воды).

Гумат-80 – органо-минеральное удобрение; содержит не менее 80 % активных веществ. Используется для повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных растений путем предпосевной обработки семян и рассады, полива вегетирующих растений и внесения в почву. Для замачивания семян и саженцев Гумат-80 используют в виде разбавленного раствора. Сначала готовят концентрат – 10 г препарата (1 таблетка) растворяют в 10 л воды, затем, по мере необходимости, 1 л концентрата разводят в 9 л воды и полученный рабочий раствор используют по назначению. Семена

цветочных и декоративных растений замачивают в течение 1 сут. при комнатной температуре, черенки – 1 сут., погружая их в раствор 1/3 длины. Семена капусты замачивают на 48 ч, огурцов – 24 ч, томатов – 72 ч. В период вегетации рекомендуется в течение всего сезона поливать растения через 10–12 сут., цветы – 1 раз в 7 сут., при норме расхода рабочего раствора 4–5 л/м² или 1 куст. Плодовые деревья или кустарники рекомендуется раствором Гумата-80 обрабатывать 4 раза за сезон: в период закладки цветочных почек, после цветения, в начале опадения завязи, во время роста плодов.

Гумисол – жидкий гуминовый препарат. Повышает всхожесть, энергию прорастания семян, стимулирует корнеобразование у растений, способствует быстрому укоренению черенков, стимулирует рост, развитие, цветение и плодоношение растений, оказывает положительное влияние на устойчивость растительных организмов к болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды.

Лигногумат – концентрированное гуминовое удобрение, состоящее на 90 % из солей гуминовых кислот, в число которых входит 15–25 % низкомолекулярных кислот, из которых преобладающая часть – фульвокислоты. Кроме того, лигногумат содержит калий, серу, железо, магний, медь и марганец. Полностью растворим в воде, совместим с минеральными удобрениями и пестицидами. Вырабатывается из растительного сырья. Лигногумат является экологически чистым продуктом и выпускается в виде 15 %-го раствора объемом 15 мл. Используется для повышения плодородия почв и урожайности овощных и плодово-ягодных культур. Положительный эффект от применения лигногумата возрастает в условиях низких температур, недостатка или избытка влаги, засоления почвы.

Лигногумат применяют для замачивания семян и саженцев, растворяя 3 капли его в 100 мл воды. Отношение объема сухих семян к раствору 1:3. Продолжительность замачивания для культур, выращиваемых в закрытом грунте, – 24 ч, в открытом – 36 ч, кроме семян капусты, которые выдерживаются в растворе 12 ч. Саженцы замачивают в течение 24 ч, опустив в раствор корневую систему. Картофель обрабатывают непосредственно перед посадкой, погружая в раствор, приготовленный из расчета 40 мл препарата на 1 л воды. Рассадку опрыскивают в фазе 3–4 настоящих листьев за 12 ч до пикировки или высадки раствором лигногумата – 3 капли на 100 мл воды. Обработка растений в открытом грунте производится таким же раствором, как при замачивании семян. Для закрытого грунта концентрация раствора в 2 раза меньше (10 мл лигногумата развести в 20 л воды). Полив производится 3 раза с перерывом в 15 дней (первый – сразу после высадки рассады в грунт), расход раствора 5 л/м². Картофель опрыскивают водным раствором лигногумата 2 раза: первый – при высоте растений 8–12 см, второй – в фазе бутонизации. Для полива комнатных растений, 6 капель концентрата растворяют в 1 л воды; периодичность полива 1 раз в 3 месяца.

Окси- и гидрогумат – представляет собой темно-коричневую жидкость, содержащую 10 % действующих веществ. В химическом составе этих препаратов преобладают гуминовые кислоты (45–60 %), фульвокислоты (20–25 %), полисахариды (5–8 %), низкомолекулярные органические кислоты (15–18 %), среди которых идентифицированы уксусная, янтарная, глутаровая, гликолевая, молочная и левулиновая. Реакция среды щелочная. Окси- и гидрогумат не токсичен, не горюч, хранится при температуре от –5 до +30°C в течение 5 лет в закрытых емкостях. Для транспортировки пригодны металлические, полиэтиленовые и стеклянные емкости. Рекомендуется для предпосевной обработки семян и некорневой подкормки вегетирующих растений.

Торгум – комплексное гранулированное торфогуминовое удобрение. Его промышленное производство организовано на Бокситогорском биохимическом заводе при содействии фирмы "Флора-Болт". Торф, используемый на изготовление этого удобрения, контролируется на содержание солей тяжелых металлов и радионуклидов. Химическая обработка торфа агрохимически ценным калийным щелочным реагентом более чем в 200 раз повышает подвижность его активного вещества, а введение азота, фосфора (2–4 %) и микроэлементов позволяет получить комплексное удобрение, обладающие свойствами как минеральных удобрений – легкодоступностью элементов питания, так и органических – продолжительным поступлением азота, фосфора и калия в почвенный раствор. Удобрение содержит до 4 % солей гумата калия. Одно из достоинств удобрения – его долгодействие, исключая "залповые" выбросы питательных веществ и их вымывание осадками, грунтовыми и поливными водами. Поэтому торгум вносится за один прием. Последствие этого удобрения составляет 3–4 года.

Торгум можно применять в любой фазе роста и развития растений. Замачивание семян производится в водной вытяжке из удобрения, что значительно повышает их всхожесть, энергию, и скорость прорастания семян. При выращивании рассады и высадке ее в грунт улучшается приживаемость растений и хорошо развивается корневая система. При использовании удобрения под основную обработку почвы растения быстрее растут, раньше зацветают, урожайность повышается на 20–30 %.

Эффектон – гумифицированное, биологически активное удобрение – продукт переработки торфа микроорганизмами. Полезные микроорганизмы, находящиеся в удобрении Эффектон, создают благоприятную среду для роста и развития растений. При попадании вместе с удобрением в почву образуют в ризосфере очаги усиленной биохимической активности, в результате которой повышается снабжение растений азотом и фосфором. Кроме того, микроорганизмы, находящиеся в этом удобрении, вырабатывают значительное количество витаминов и стимуляторов роста, оказывающих положительное влияние на жизнедеятельность растений. Эффектон эффективно действует как при обработке семенного материала, так и при корневой и некорневой подкормках. Из серии органо-минеральных удобрений Эффектон для комнатного цветоводства специально предназначен Эффектон-ДЦ. Это удобрение содержит гумусовые вещества, биологически и физиологически активные компоненты, благодаря которым можно полностью отказаться от внесения других органических удобрений. Эффектон-ДЦ – концентрированное органо-минеральное удобрение для подкормки цветов, декоративных растений и цветочной рассады. В его состав входят: азот 9,4 г/л, фосфор – 17,4, калий 19,4 г/л, микроэлементы (рН 6,5–7).

7.4.5. Биоудобрения

Активит-МБ – высокоэффективный биологически активный комплекс. Предназначен он для корневой и некорневой подкормки плодово-ягодных, овощных культур, а также декоративных и комнатных растений. Способствует ускоренному росту и созреванию плодов при использовании его в небольших нормах.

Активит-МБ обеспечивает ускоренное прорастание семян, рост растений и созревание плодов. Препарат активизирует процесс фиксации атмосферного азота почвенными микроорганизмами, что значительно сокращает потребность в азотных удобрениях. В отличие от традиционных удобрений и минеральных добавок, он эффективно действует в минимальных дозах.

В состав препарата входит активизирующий клеточные процессы комплекс экологически безопасных компонентов, включающий биохимические активные вещества и микроэлементы.

Байкал ЭМ 1 – препарат состоит из комплекса микроорганизмов, которые обеспечивают питание растений и оздоровление почвы.

Применяется для приготовления компостов, замачивания семян и опрыскивания растений в период их роста. При поливе цветов раствором препарата Байкал ЭМ 1 (1:2000) они лучше цветут, увеличиваются в размере. При применении этого препарата происходит оздоровление почвы и повышается обеспеченность подвижными элементами питания.

Зимой с помощью Байкала ЭМ 1 в обычном ведре из кухонных отходов можно получить до 300 кг биогазуса, который в десять раз эффективнее навоза.

Возрождение – биоудобрение, предназначенное для выращивания, овощных и декоративных культур. Живые микроорганизмы, входящие в его состав, позволяют получить хорошие результаты на различных почвах и за короткий период восстановить их плодородие. Молочнокислые бактерии вырабатывают молочную кислоту, которая является сильным стерилизатором и подавляет развитие *Fusarium*, ослабляющих растения и способствующих развитию нематод. Дрожжи, входящие в состав препарата, участвуют в разложении органических соединений, выделяя полезные для роста растения вещества, а также гормоны и ферменты, которые ускоряют деление клеток корней растений. Поэтому при посадке и пересадке растения легко приспосабливаются к новым условиям и хорошо приживаются. Актиномицеты расщепляют в растительных остатках сложные соединения. Они вырабатывают антимикробный материал, который подавляет вредные грибы и бактерии. Поэтому, применяя биоудобрение Возрождение, за 1–2 месяца можно избавиться от разнообразных грибковых гнилей. Грибы типа *Aspergillus* и *Penicillium* быстро разлагают органические вещества, устраняют неприятные запахи, предотвращают отложение яиц насекомых-вредителей и развитие их личинок. Кроме того, биоудобрение значительно упрощает приготовление компоста, улучшая его качество и снижая срок компостирования до двух месяцев.

Планта. В основе производства Планты лежит биоферментный процесс переработки куриного помета личинками мухи, имеющей суперактивный метаболизм. Полное комплексное усвоение питательных веществ в Планте стимулируется сложной комбинацией биоферментов. Улучшая обмен веществ внутри растительного организма, Планта ускоряет его рост и развитие, способствует более интенсивному окислительно-восстановительному процессу в клетке растений. Сложная композиция биоферментов способствует тому, что Планта гармонично сочетает свойства биоудобрения и биостимулятора роста. Способствует повышению урожайности и поддержанию иммунитета растительных организмов.

7.4.6. Почвенные грунты и сорбенты

Грунты серии Селигер-Агро. Среди грунтов серии Селигер-Агро наибольший интерес представляет ЭКЗО, предназначенный для проращивания семян всех видов культур, а также, при смешивании с дерновой землей, для выращивания овощных, плодово-ягодных, цветочных и декоративных растений. Грунт для цветов и комнатных растений предназначен для всех видов комнатных растений и цветов в открытом грунте.

Под торговой маркой Селигер-Агро выпускается ряд специализированных грунтов, предназначенных для выращивания растений с учетом их специфиче-

ских требований к составу и обеспеченности почвы доступными элементами минерального питания. Также компанией Селигер-Агро выпускаются грунты для выращивания овощных растений и грунт "Последний долг" для посадки декоративных растений на местах захоронений (табл. 153; Пещеров А.В., 2003).

Таблица 153 – Основные характеристики питательных грунтов Селигер-Агро

Наименование грунта	Состав, мг/л				рН
	азот	фосфор	калий	микро-элементы	
Последний долг	100–200	100–200	150–280	нет	5,5–6,5
Для юкки и драцены	125–225	125–225	185–335	есть	5,0–6,0
Для citrusовых	210–390	210–390	320–560	есть	5,0–6,0
Для фикусов	190–350	190–350	280–520	есть	5,0–6,0
Для пальм	175–325	175–325	260–480	есть	5,0–6,0
Для суккулентных растений	55–105	55–105	80–150	есть	5,0–6,0
Для лесных кактусов	70–130	70–130	105–185	есть	5,0–6,0
Для пустынных кактусов	50–90	50–90	75–135	есть	5,0–6,0
Для сенполии и цикламена	210–390	240–440	260–490	есть	5,5–6,5
Для бегонии и розы	140–260	160–300	180–380	есть	5,5–6,5
Для азалии и вереска	60–120	60–120	120–240	есть	4,2–4,5
Для цветов и комнат. растений	100–200	100–200	140–260	есть	5,5–6,0
Клубника	200–320	220–440	225–415	есть	5,6–6,5
Капуста	575–1065	385–715	255–475	есть	5,5–6,5
Газон	65–125	170–310	70–130	есть	5,5–6,0
Огурцы	130–250	250–450	280–520	есть	5,6–6,3
Томат и перец	180–320	350–650	350–650	нет	5,6–6,0
ЭКЗО	100–180	135–255	115–215	нет	5,5–6

Основной составляющей грунтов Селигер-Агро является природный материал – торф, содержащий до 80 % гумуса. Главной особенностью грунтов серии Селигер-Агро является высокая биологическая активность. Микрофлора, которая вводится в грунты на стадии их приготовления, способствует активизации микробиологических процессов в почве. Грунты серии Селигер-Агро включают в себя полный набор питательных элементов, специально подобранных для развития растений и полностью готовых к непосредственному использованию.

"ЭКЗО". Универсальный грунт "ЭКЗО" – высококачественный грунт универсального назначения, готовый к использованию и приспособленный для выращивания рассады овощных и плодово-ягодных культур, цветов и комнатных растений, а также для улучшения почв и мульчи, создания и восстановления травяных газонов.

Состав грунта: верховой торф средней степени разложения, смешанный с органоминеральными удобрениями и известью (рН 5,5–6), содержащий 100–180 мг/л азота, 135–255 – фосфора, 115–215 мг/л калия.

Грунт для цветов и комнатных растений – уникальный воздухоёмкий субстрат многоцелевого использования для выращивания комнатных растений и цветочных культур.

Состав грунта: раскисленный верховой торф, стартовый комплекс минеральных удобрений, песок (рН 5,5–6). Содержит 100–200 мг/л азота, 100–200 – фосфора, 140–260 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для азалии и вереска – субстрат с ярко выраженной кислой реакцией для выращивания азалий, герани, рододендронов, синих гортензий, филодендрона, а также вереска, голубики, клюквы и других растений с небольшой потребностью в питательных элементах.

Состав грунта: моховой и низинный торф, песок, минеральные удобрения, молотый известняк (рН 4,2–4,5), содержащий 60–120 мг/л азота, 60–120 – фосфора, 120–240 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для бегоний и роз – грунт для выращивания бегоний, роз, а также других горшечных растений (глоксиний, колерий, традесканций и т.д.), рассады (гвоздики ремонтантной, герани, хризантемы, цикламена и т.д.) со средней потребностью в питательных веществах.

Состав грунта: верховой и низинный распушенный торф, смешанный с песком, удобрениями и известью (рН 5,5–6,5). Содержит 140–260 мг/л азота, 160–300 – фосфора, 180–380 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для сеньполии и цикламена – специальный грунт для выращивания сеньполий и цикламенов, а также других клумбовых, балконных и горшечных растений и цветов (гвоздики ремонтантной, герберы, красной гортензии, новогвинейской недотроги, хризантем и т.д.), требовательных к наличию питательных веществ.

Состав грунта: верховой и низинный распушенный торф, песок, удобрения, известь (рН 5,5–6,5). Содержит 210–390 мг/л азота, 240–440 – фосфора, 260–490 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для пустынных кактусов – пористый, готовый к использованию специальный грунт для содержания пустынных кактусов распространенных видов: апоро-, клейсто-, миртилло-, ното-, феро-, хамато-, эхинокактусов, гимнокалициумов, лобивий, мамиллярий, опунций, пародий, ребуций, хамецереусов, эхинопсисов и других.

Состав грунта: верхний раскисленный торф, речной и керамзитовый пески, комплексное минеральное удобрение в оптимальном количестве (рН 5–6). Содержит 50–90 мг/л азота, 50–90 – фосфора, 75–135 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для лесных кактусов – рыхлый, готовый к использованию специальный грунт для выращивания лесных (тропических) кактусов распространенных видов: зигокактус усеченный ("декабрист"), рипсалис, рипсалидопсис, эпифиллум и другие.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый и речной песок, кальций и питательные вещества (рН 5–6). Содержит 70–130 мг/л азота, 70–130 – фосфора, 105–185 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для суккулентных растений – специальная земля для выращивания таких суккулентных растений, как агава, алоэ, бриофиллум, гастерия, горноколосник, каланхоэ, котиледон, крестовник, молодило, молочай, очиток, толстянка, фаукария, хавотия, циропегия, эчеверия и другие.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый и речной песок, молотый известняк, макро- и микроудобрения (рН 5–6). Содержит 55–105 мг/л азота, 55–105 – фосфора, 80–150 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для пальм – готовый к использованию специальный грунт для выращивания пальмовых растений (кокос, финик, ховея, сабаль, вашингтония, юбея, хамадорей, саговая, веерная и другие виды пальм).

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый гравий, речной песок, известь и комплексное удобрение (рН 5–6). Содержит 175–325 мг/л азота, 175–325 – фосфора, 260–480 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для фикусов – грунт для выращивания фикусов: каучуконосного, Бенджамина лировидного, бенгальского (баньян), треугольного, ржаволистного, священного и других.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый гравий, речной песок, известь и комплексное удобрение (рН 5–6). Содержит 190–350 мг/л азота, 190–350 – фосфора, 280–520 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для цитрусовых – высокоэффективный грунт для выращивания цитрусовых растений: апельсина, грейпфрута, кинкана, лимона, мандарина, цитрона и других.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый гравий, речной песок, известь и комплексное удобрение (рН 5–6). Содержит 210–390 мг/л азота, 210–390 фосфора, 320–560 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для юкки и драцены – субстрат с хорошей зернистой структурой для выращивания ложных пальм: юкки, нолины, кордилины, драцены и других.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый и речной песок, молотый известняк, макро- и микроудобрения (рН 5–6). Содержит: азота 125–225 мг/л, фосфора – 125–225, калия 185–335 мг/л и микроэлементы.

Почвенные грунты фирмы "ФАСКО". Компания ФАСКО выпускает готовые специализированные и универсальные почвогрунты на торфяной основе, содержащие песок, известь и полный комплекс элементов питания, необходимых для роста и развития растений. Упаковка почвенных грунтов имеет черный светозащитный слой, который сдерживает развитие светлюбивых микроорганизмов и сохраняет свойство грунта.

Глория – полностью готовый к использованию грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания любых видов роз. В его составе переходный торф, песок, керамзит, известь, нитроаммофоска бесхлорная. В грунте содержатся доступные для растений питательные элементы: N – 150–350 мг/кг, P – 250–400, K – 250–400 мг/кг, рН – 6,0–6,5.

Фирма "ФАСКО" производит грунты с таким же составом, содержанием питательных элементов и различным диапазоном значений рН для "Азалий", "Бегоний", "Луковичных", "Папоротников", "Цитрусовых", "Фиалок", "Фикусов", а также "Оазис", "Тропик".

Земля для ваших любимых растений – полностью готовый к использованию универсальный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания садовых и комнатных растений, при посадке роз, пионов, клематисов, декоративных и ягодных кустарников, хвойных культур, папоротников и аспарагусов, пальм и цитрусовых, бегоний, аглонем, юкк, драцен, кордилины и сансевиерий, монстер, шефлер, фатсий, фикусов, плющей и лиан. В его состав входят переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, нитроаммофоска, известняковая мука. Содержание в нем доступных для растений питательных элементов: N – 150–350 мг/кг, P – 250–400, K – 250–400 мг/кг, рН – 6,0–6,5.

Крепыш – полностью готовый к использованию грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания комнатных цветов, рассады любых овощных культур (томатов, перцев, огурцов, кабачков, капусты, баклажан, физалиса). Используется для "зимнего огорода" на подоконнике (зеленого лука, салата и другой пряной зелени), при пикировании

рассады в отдельные горшочки и открытый грунт. В его составе переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, известь, нитроаммофоска бесхлорная. В нем содержится доступных для растений питательных элементов: N – 250–300 мг/кг, P – 200–300, K – 300–400 мг/кг, pH – 6,0–6,5.

Малышок – полностью готовый к использованию натуральный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания рассады и взрослых растений пасленовых культур (томатов, баклажан, перцев). В его составе переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, известь, нитроаммофоска бесхлорная. Содержание доступных для растений питательных элементов в грунте Малышок: N – 60±10 мг/кг, P – 190±40, K – 80±20 мг/кг, pH – 5,0–5,5,

Огородник – полностью готовый к использованию универсальный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания плодово-ягодных и цветочных культур, рассады овощных и комнатных растений, "зимнего огорода" на подоконнике, газонов в открытом и закрытом грунте. В своем составе имеет верховой и низинный торф, песок, известь, дренаж, полное минеральное удобрение. В нем содержится доступных для растений питательных элементов: N – 275 мг/кг, P – 250, K – 350 мг/кг, pH – 6,0.

Садовник – полностью готовый к использованию универсальный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания, при пикировании, посадке и присыпке тех же культур, что и питательный грунт "Садовник". Используется при укоренении черенков, пикировке и посадке рассады в открытый грунт, для подсыпки к стеблям огурцов, томатов, перцев. В его состав входит верховой и низинный торф, песок, известь, дренаж, полное минеральное удобрение. Содержание в нем доступных для растений питательных элементов: N – 150–300 мг/кг, P – 200–400, K – 300–450 мг/кг, pH – 5,5–6,5.

Цветочный – полностью готовый к использованию многоцелевой воздухоемкий грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания комнатных растений и цветочных культур (рассады), таких как фиалка, герань, плющ, пахистахис, хлорофитум, циперус, монстера, бересклет, фатсия, а также для луковичных культур, таких как тюльпаны, крокусы, гиацинты, нарциссы, ирисы и другие. В его составе переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, нитроаммофоска, известняковая мука. Содержание в этом грунте доступных для растений питательных элементов: N – 150–350 мг/кг, P – 250–400, K – 250–400 мг/кг, pH – 5,5–6,5.

Использование. Добавляют в коробочки для выращивания рассады по 3–7 г для кормки рассады, используют выдержанный 2–3 ч водный раствор 50–100 г/2–4 л; периодичность – 2 раза в месяц.

Вермикулит – природный сорбент, активная природная добавка для роста растений. Это легкий материал чешуйчатого строения. Получают его из горной породы низкосортной слюды обжигом при температуре более 800 °С. В результате обжига, порода вспучивается и легко разделяется на слои. В процессе эксплуатации вермикулит выделяет в почвенный раствор в небольших количествах калий и магний. Долговечность вермикулита невысокая. Со временем он сильно засоряется корневыми выделениями и накапливает инфек-

ции. Он увеличивает срок использования торфо- и почвенных грунтов в 2–3 раза и время действия удобрений в грунтах 1,5–2 раза. Препятствует засолению и слеживанию грунтов, развитию плесени, грибов, размножению вредителей, повышению кислотности почвы. Вермикулит адсорбирует излишки питательных веществ. Содержит 38–45 % кремния, 10–16 – алюминия, 1–6 – калия, 6–13 – железа, 1–5 % кальция.

Применяют сорбент для выращивания рассады овощных культур и цветочных растений. Готовится смесь из вермикулита и грунта в соотношении 1:4. Субстрат из вермикулита и торфа в соотношении 1:1 используют для укоренения черенков различных культур. Кроме того, мульчируют приствольные круги плодово-ягодных культур. Расход вермикулита составляет 5–6 л/м². При посадке картофеля вермикулит вносится в лунку в количестве 30–60 г. Сорбент применяется в смеси с минеральными удобрениями в соотношении 1:3.

8. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

Химическая мелиорация почвы – система мер химического воздействия на почву в целях улучшения ее состояния, неблагоприятного для растений, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и производительности труда. При химической мелиорации почв из корнеобитаемого слоя удаляются вредные для растений соли, уменьшается содержание поглощенного водорода (в кислых почвах), натрия (в солонцах и солонцеватых почвах), устраняются чрезмерная кислотность, щелочность, солонцеватость...

Г. Черемисин, 1975

В нашей стране большие площади занимают почвы, имеющие повышенную кислотность (дерново-подзолистые) и повышенную щелочность (солонцы). Они характеризуются плохими физическими, физико-химическими и биологическими свойствами. Все это создает неблагоприятные условия жизни растений. Улучшить их свойства можно только с помощью химической мелиорации: кислых почв путем известкования, щелочных – гипсования.

8.1. Известкование почв

Значение известкования почв. *Известкование почв – это прием коренной химической мелиорации, направленный на устранение повышенной кислотности путем внесения нейтрализующих веществ.*

В России кислые почвы занимают свыше 43 млн. га пашни, из которых половина сильнокислые и среднекислые, нуждающиеся в первоочередном известковании. Ежегодный недобор урожая на кислых почвах в пересчете на зерно составляет около 20 млн. т.

Необходимость в известковании возрастает также в связи с тем, что внесение минеральных удобрений подкисляет почву, из нее вымывается значительное количество кальция и магния. Под влиянием атмосферных осадков и применения удобрений ежегодные потери оснований из пахотных почв в пересчете на CaCO₃ составляют 350–450 кг/га. Потери их различны в зависимости от почвенно-климатических условий.

Известковые удобрения применяются очень давно. В Древнем Риме было известно применение мергеля. В Галлии и на Британских островах применяли

мергель и мел на полях и лугах около 2000 лет назад. В XVI-XVIII вв. известковые удобрения широко применяли в странах Западной Европы. В те времена, при отсутствии знаний о природе действия извести, ее рассматривали как средство, заменяющее навоз. Поэтому ее нередко вносили в больших количествах и слишком часто, что приводило иногда к отрицательным результатам.

В России в первой половине XIX в. М.Г. Павлов в книге "*Земледельческая химия с предварительным изложением к сей части, и ко всей науке сельского хозяйства – приготовительных сведений из известных наук с показанием разных способов землеудобрения и начертанием правил пахания*" (1825) довольно подробно излагал прием использования извести. Большое значение имели исследования И.А. Стебута, результаты которых изложены в его диссертации "*Известкование почв*" (1865). Первые полевые опыты по известкованию были проведены под руководством Д.И. Менделеева. Особенно большое значение имели работы К.К. Гедройца по поглотительной способности почв, Д.Н. Прянишникова и других ученых. На основе их трудов известкование почв в нашей стране проводилось в больших масштабах.

Влияние известкования на свойства кислых почв. Большинство культурных растений и почвенных микроорганизмов лучше развиваются при слабокислой или нейтральной реакции (рН 6-7). Излишне кислая реакция оказывает на них отрицательное действие.

При повышенной кислотности замедляется рост корней; затрудняется использование растениями питательных веществ почвы и удобрений; ухудшаются физические свойства и структура, подавляется микробиологическая деятельность; сильно проявляется химическое поглощение фосфатов; оказывают отрицательное действие подвижные формы алюминия, железа и марганца.

Для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и увеличения эффективности удобрений на кислых почвах, необходимо устранить повышенную кислотность проведением известкования – внесением известковых удобрений.

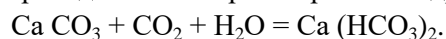
При известковании в почве происходят следующие изменения: устраняется активная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность; создается благоприятная среда для роста корней и жизнедеятельности полезных микроорганизмов и подавляются вредные; улучшается структура почвы, водопроницаемость и аэрация; снижается содержание подвижных форм алюминия, железа и марганца; повышается жизнедеятельность бактерий азотфиксаторов, аммонификаторов и нитрификаторов, в результате улучшается азотное питание; усиливается мобилизация фосфатов почвы и улучшается питание растений фосфором вследствие минерализации и образования фосфатов кальция; увеличивается подвижность микроэлемента молибдена, но уменьшается подвижность бора и марганца; улучшается питание растений кальцием.

Известковые удобрения. В качестве известковых удобрений используются продукты переработки твердых и мягких известковых пород природных месторождений и некоторые отходы промышленности.

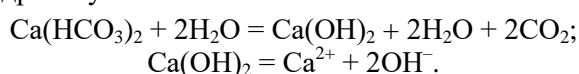
Известняковая мука CaCO_3 . Действующего вещества (в пересчете на CaCO_3) содержится 75-100 %. По внешнему виду это белого или желтоватого цвета пылящий порошок. Получается путем размола известняков. Имеет значение тонина помола. Остаток на сите с размером ячеек 0,25 мм должен быть не более 15-45 %, 1 мм – не более 6 %.

Удобрение мало гигроскопично, но при повышении влажности ухудшается сыпучесть и рассеиваемость, в зимнее время может смерзаться. Известняко-

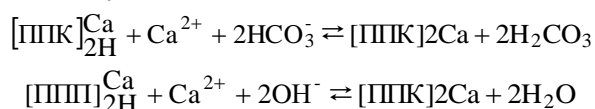
вая мука практически нерастворима в воде. Но в почве под действием углекислого газа и воды переходит в более растворимый гидрокарбонат кальция:



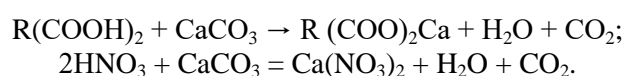
Гидрокарбонат кальция диссоциирует на ионы Ca^{2+} и HCO_3^- и частично подвергается гидролизу:



Катион Ca^{2+} вытесняет ионы водорода H^+ из почвенного поглощающего комплекса. Водород связывается с HCO_3^- в слабодиссоциирующую угольную кислоту и с OH^- – в воду:



CaCO_3 взаимодействует также со свободными органическими кислотами и с азотной кислотой, образующейся при нитрификации, и нейтрализует их:



В результате при внесении полной нормы извести устраняется активная и обменная кислотность, значительно снижается гидролитическая кислотность, повышается степень насыщенности основаниями, повышается содержание кальция в почвенном растворе.

Доломитовая мука $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Действующего вещества 95-109 %. По внешнему виду белый или желтоватый порошок. Получается путем размола доломитов. MgCO_3 практически нерастворим в воде и слабо растворим в воде, содержащей углекислоту. Поэтому действует несколько медленнее, чем известняковая мука.

Жженая известь CaO . Действующего вещества до 178 %. Получается путем обжига известняков и в виде отходов на известковых заводах. Комовая известь перед применением гасится водой до получения пушонки, пылевидная может применяться непосредственно. Очень сильно- и быстродействующий известковый материал.

Гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Действующего вещества до 135 %. Получается при гашении жженой извести и как отход на известковых заводах и при производстве хлорной извести. Гашение проводится водой или присыпанием сырой землей. Действие сильное и быстрое.

Дефекат $\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$. Действующего вещества 60-75 %. Получается в виде отходов свеклосахарного производства – дефекационной грязи. После подсушивания на воздухе становится сыпучим и его можно использовать как удобрение. В Краснодарском крае имеется в больших количествах.

Цементная пыль $\text{CaO} + \text{Ca}(\text{OH})_2$. Действующего вещества до 86 %. Представляет собой тонкий пылящий порошок. Получается в виде отходов на цементных заводах. Быстро- и сильнодействующее удобрение.

В качестве удобрений для известкования могут использоваться мягкие известковые породы (*известковый туф, гаж, мергель*) и ряд других отходов промышленности.

Применение известковых удобрений. Для проведения известкования необходимо установить потребность в этом агротехническом приеме, рассчитать дозы удобрений и установить приемы внесения.

Потребность в известковании. Для определения необходимости известкования используют агрохимические картограммы кислотности почв, составленные агрохимическими лабораториями. Учитывается обменная кислотность (рН солевой вытяжки) и степень насыщенности основаниями (табл. 154).

Таблица 154 – Потребность почв в известковании

Потребность в известковании	рН солевой вытяжки	Степень насыщенности основаниями, V %
Сильная	< 4,5	< 50
Средняя	4,6-5,0	50-70
Слабая	5,1-5,5	70-80
Отсутствует	>5,5	> 80

Для более точного определения потребности в известковании учитывают также содержание в почве подвижных соединений алюминия и марганца, гранулометрический состав почвы.

Расчет нормы известковых удобрений. Количество извести, необходимое для установления слабокислой реакции почвы, благоприятной для большинства культур (рН водной вытяжки 6,2-6,5, солевой вытяжки – 5,6-5,8), называют полной нормой. Ее определяют по гидролитической кислотности с учетом массы почвы пахотного слоя 1 га по формуле:

$$m(\text{CaCO}_3) = \frac{50 \cdot N_r \cdot 10^5 \cdot h \cdot \rho}{10^9} = \frac{N_r \cdot h \cdot \rho}{200},$$

где: $m(\text{CaCO}_3)$ – масса CaCO_3 , т/га;
 50 – молярная масса эквивалентов CaCO_3 , мг/моль-эк (необходимого для вытеснения 1 ммоль-эк H^+);
 N_r – гидролитическая кислотность почвы, ммоль-эк/кг;
 10^5 – объем слоя почвы в 1 см на гектаре, дм^3 ;
 h – глубина вспашки, см;
 ρ – плотность почвы, г/см^3 (численно равна плотности в кг/дм^3);
 10^9 – коэффициент для пересчета миллиграммов в тонны.

Например, на почве с гидролитической кислотностью 60 ммоль-эк/кг, при глубине вспашки 18 см и плотности 1,1 г/см^3 масса CaCO_3 составляет 5,9 т/га.

Норму известкового удобрения, далее, рассчитывают с учетом содержания действующего вещества в применяемом удобрении (как в минеральных удобрениях). На малобуферных легких почвах норму извести снижают на 25-30 % от полной нормы.

Внесение известковых удобрений. Полную норму извести вносят сразу или в несколько приемов в зависимости от возможностей хозяйства. Установленную норму извести вносят равномерно по поверхности поля машинами для разбрасывания известковых удобрений. Удобрения вносят осенью под вспашку зяби или весной под ее перепашку.

Если применяется фосфоритная мука, то ее вносят до известкования. Небольшие дозы извести 1/4–1/5 полной нормы (0,5–1 т/га) вносят в рядки при посеве и в лунки при высадке рассады, или под неглубокую заделку под культуры, особенно чувствительные к кислотности. При внесении извести по полной норме повторное известкование проводят через 7–10 лет. Для уточнения сроков проводят агрохимическое обследование почв через 5 лет.

8.2. Гипсование почв

Значение гипсования почв. *Гипсованием* называют прием коренной химической мелиорации солонцов, устраняющий избыточную щелочность и другие неблагоприятные свойства путем внесения кальциевых солей, преимущественно гипса.

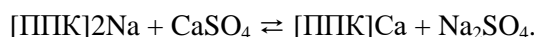
При гипсовании почвы приобретают благоприятные агрономические свойства, в результате повышается их плодородие. Так, урожайность зерна на черноземах при гипсовании повышается на 3-6 ц/га; на каштановых почвах – на 2-3 ц/га. В Краснодарском крае рис возделывается главным образом на засоленных почвах и солонцах, площадь которых достигает 110 тыс. га. Гипсование этих почв существенно повышает урожайность риса, особенно на фоне минеральных удобрений (табл. 155; Бугаевский В.К., 1982).

Таблица 155 – Влияние гипсования и минеральных удобрений на урожайность риса, ц/га

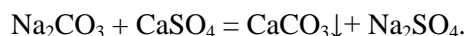
Вариант	Без фосфогипса		С фосфогипсом		Прибавка от фосфогипса
	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка	
Без удобрений	36,5	-	41,6	-	5,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₁₂₀	42,9	6,4	49,2	7,6	6,3
N ₉₀ P ₂₂₅ K ₁₅₀	43,5	7,2	53,0	11,4	9,5
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₉₀	48,1	11,6	59,0	17,4	10,9

Гипсование получило значительное применение в зоне распространения солонцов. В разработке теоретического обоснования мероприятий по гипсованию солонцов сыграли труды К.К. Гедройца "Учение о поглощательной способности почв", "Солонцы и их происхождение", а также работы В.А. Ковды, И.Н. Антипова-Каратаева и других.

Влияние гипсования на свойства солонцов. Присутствие большого количества обменного натрия в солонцах придает им плохие водно-физические свойства и высокую щелочность, неблагоприятную для растений. Гипсование позволяет резко улучшить водно-физические и химические свойства солонцов. При внесении, например, гипса происходит вытеснение обменного натрия из почвенного поглощающего комплекса с образованием нейтральной соли:



Одновременно устраняется активная щелочность:



При гипсовании солонцов с высоким содержанием обменного натрия образуется много Na₂SO₄ и его нужно удалять путем промывания при орошении.

В результате гипсования устраняется избыточная щелочность; улучшается структура, водопроницаемость и аэрация; повышается плодородие почвы.

Удобрения для гипсования почв. Для гипсования используют природные залежи гипса и других минералов, а также отходы промышленности.

Гипс сыромолотый CaSO₄·2H₂O. Действующего вещества (в пересчете на CaSO₄·2H₂O) содержится не менее 85 % (класс А). По внешнему виду белый мягкий порошок. Получается путем размола природного гипса. Остаток на сите с размером ячеек 0,25 мм должен быть не более 25 % для класса А, 1 мм

– не более 3,5 %. Удобрение при влажности свыше 8 % слеживается. Слабо растворимо в воде. В почве постепенно вступает в обменные реакции с почвенным поглощающим комплексом и солями почвенного раствора.

Фосфогипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Действующего вещества содержит не менее 93 % (1-й сорт, при влажности 5 %). Содержит 2-3 % фосфора (P_2O_5). Очень мелкий порошок белого или сероватого цвета, мягкий, при повышенной влажности слеживается. Получается в виде отходов при производстве экстракционной фосфорной кислоты. В связи с высокими дозами внесения при расчете норм фосфорных удобрений для гипсования необходимо учитывать фосфор, содержащийся в фосфогипсе.

Фосфогипс имеется в больших количествах на Невинномысском химическом комбинате в Ставропольском крае и Краснодарском химическом заводе в г. Белореченске.

Глиногипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с примесью глины. Содержание действующего вещества различное. Добывается из рыхлых природных залежей, поэтому размол не требуется. Залежи имеются в Ростовской области в зоне распространения солонцов.

В качестве удобрений для гипсования могут использоваться: **известняковая мука** CaCO_3 – на некоторых малонатриевых почвах; **хлористый кальций** CaCl_2 при условии хорошей промывки; **сернокислое железо** $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Применение удобрений для гипсования. Для проведения гипсования необходимо установить потребность в нем, рассчитать дозу удобрения и определить приемы внесения.

Потребность в гипсовании. Для определения потребности в гипсовании необходимы результаты агрохимических анализов почвы и полевых опытов в районе проведения гипсования. Обычно считается, что в гипсовании нуждаются почвы, содержащие более 10 % обменного натрия и более 30 % обменного магния от емкости обмена. Иногда считают допустимым содержание обменного натрия только до 5 %. На солонцах, содержащих соду, рекомендуется увеличивать дозу гипса.

Расчет нормы гипса. Для расчета нормы гипса в учебниках обычно приводится сокращенная формула, удобная для расчетов, но трудная для понимания. Здесь приводится полная формула:

$$m(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{86 \cdot (\text{Na} - 0,1\text{T}) \cdot 10^5 \cdot h \cdot \rho}{10^9} = \frac{86 \cdot (\text{Na} - 0,1\text{T}) \cdot h \cdot \rho}{10000},$$

где: $m(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ – масса удобрения, т/га;
86 – молярная масса эквивалентов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мг/моль-эк (необходимого для вытеснения 1 ммоль-эк Na^+);
Na – содержание обменного натрия в почве, ммоль-эк/кг;
0,1 – 10 % емкости катионного обмена почвы;
T – емкость катионного обмена почвы, ммоль-эк/кг;
 10^5 – объем слоя почвы в 1 см на гектаре, дм^3 ;
h – глубина вспашки, см;
 ρ – плотность почвы, г/см^3 (численно равна плотности в кг/дм^3);
 10^9 – коэффициент для пересчета миллиграммов в тонны.

Например, на почве с содержанием обменного натрия 50 ммоль-эк/кг, емкостью катионного обмена 180 ммоль-эк/кг, при глубине вспашки 20 см и плотности почвы $1,2 \text{ г/см}^3$ масса гипса составит 6,6 т/га. Дозу удобрения, да-

лее, рассчитывают с учетом содержания действующего вещества в применяемом удобрении (как в минеральных удобрениях).

На почвах с высоким содержанием обменного магния рассчитывают дополнительно дозу гипса по этой же формуле ($Mg - 0,3 T$). Так же поступают при высоком содовом засолении.

Внесение удобрений. Нормы гипса обычно составляют для лугово-степных и степных хлоридно-сульфатных солонцов 3-5 т/га, для луговых солонцов с содовым засолением около 8-10 т/га.

Большие нормы можно вносить в течение 2-3 лет. В орошаемых районах нормы снижают на 25–30 %. Солонцы встречаются пятнами среди других почв. Если они составляют меньше 30 % общей площади, то гипс вносят только на пятна.

При неглубоком залегании солонцового слоя гипс вносят после вспашки и заделывают культиватором. При залегании солонцового горизонта на глубине 7–20 см гипс вносят в два приема: часть под плуг с предплужником, остальное – после вспашки под культиватор. При залегании солонцового горизонта на глубине более 20 см всю норму гипса вносят перед вспашкой и заделывают плугом с предплужником.

В некоторых солонцах под солонцовым горизонтом на глубине 35–45 см находятся слои, богатые гипсом. В таких случаях можно применить *самогипсование* – провести плантажную вспашку на глубину 35–50 см, при этом гипсоносный слой выворачивается и перемешивается с солонцовым горизонтом. На солонцах каштановых с этой же целью можно использовать содержащийся в подсолонцовом горизонте $CaCO_3$, хотя действие его хуже, чем $CaSO_4$. Если солонцы занимают небольшие пятна, можно применить *землевание* – перемещение на них рядом расположенной черноземной почвы.

Кроме глубокой обработки, в систему агромерелиоративных мероприятий по коренному улучшению плодородия солонцов входит внесение органических и минеральных удобрений и посев многолетних трав.

9. ФИЗИОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Главная роль в повышении сбора высококачественной продукции принадлежит приемам рационального использования почвенного плодородия и удобрений.

Г.П. Гамзиков, 1989

9.1. Цеолиты, бактериальные препараты и регуляторы роста растений

Характерной особенностью наступившего XXI в. стал бурный рост народонаселения, урбанизация, интенсивная разработка полезных ископаемых, активная техногенная деятельность человека. Все это свидетельствует о сужении жизненного пространства, в том числе земельного фонда, что вызывает потребность неотложного решения продовольственной проблемы. Необходимо отметить, что предпринятые попытки увеличить урожайность сельскохозяйственных культур за счет внесения повышенных норм минеральных удобрений оказались неоправданными и привели к таким негативным последствиям, как деградация почв, ухудшение качества продукции, загрязнение окружающей среды. В этой ситуации важное значение приобретают внесение в почву цеолитов, применение бактериальных препаратов и регуляторов роста растений.

9.1.1. Цеолиты

Цеолиты улучшают свойства почвы: они сорбируют ионы аммония и калия, сохраняют влагу, предотвращают заболевания корней растений, служат источником микроэлементов.

А.А. Ермолов, 1987

Цеолиты относятся к группе щелочных и щелочноземельных алюмосиликатов, преимущественно кальция и натрия, реже калия и бария. Их насчитывается около 40 видов: амицит, баррерит, бикитаит, брүстерит, гармотом, гарронит, гейландит, гмелинит, гоннардит, дакиардит, жисмондин, каулсит, клиноптилолит, левин, ломонтит, маццит, мезолит, мерлиноит, морденит, натролит, оффретит, паулингит, силикалит, сколецит, стеллерит, стильбит, томсонит, феррьерит, филлипсит, фожазит, шабазит, эдингтонит, эпистильбит, эрионит, югаваралит.

Цеолиты найдены в осадочных, вулканических и метаморфических породах во многих районах Земного шара. Они образуются при умеренных температурах и давлениях и имеют ограниченное поле стабильности, в связи с чем редко встречаются в породах древнее мезозойских. Наиболее широко распространены цеолиты в осадочных породах (морденит, клиноптилолит, филлипсит, шабазит, эрионит), где их протяженность и мощность может достигать несколько километров. Цеолиты встречаются во многих литических и полевошпатовых песчаниках в ассоциации с обломочными породами палеозойского и миоценового возраста. Цеолиты с хорошо развитыми кристаллическими агрегатами найдены в полостях и пустотах изверженных вулканических пород, в основном в базальтах. Судя по всему, они являются результатом позднего отложения из флюидов, которые проникли в базальты после их кристаллизации. Метаморфические цеолиты образуются в основном за счет высокорекреационных вулканических стекол, ферромагнитных минералов и диагенетических цеолитов, которые могут присутствовать в первичных осадочных породах. Обнаруживают цеолиты и в морских илах, что свидетельствует об их образовании в водной среде при наличии соответствующих условий для синтеза из растворов. Это не единственный путь возникновения цеолитов, а может быть, и не главный. В илах находят также гейландит (клиноптилолит), но он имеет терригенное* происхождение и с поверхности суши смывается в водоемы. При этом в илах он сосредоточен в наиболее мелкой фракции (<2 мкм). Обнаружены цеолиты также в пресноводных и соленых озерах, лагунах. Возможно также образование цеолитов в результате взаимодействия поровых растворов.

В настоящее время известно около 1000 месторождений тех или иных разновидностей цеолитов более чем в 40 странах мира. Вулканоогенно-осадочные месторождения цеолитов, имеющие промышленное значение, впервые стали разрабатываться в США и Японии в середине 50-х гг. Богатые месторождения этих минералов обнаружены в Африке, Франции, Болгарии, Венгрии и других странах. На территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья потенциальные ресурсы цеолитов составляют несколько миллиардов тонн; разведанных запасов – более 1 млрд. 804 млн. т. Залегают они в основном в Закарпатье (Сокирницы, Водичи, Липча), Кемеровской области (р. Пегас),

* Терригенное – (от лат. terra – земля и греч. genes – рожденный) – обломочные составные части осадочных горных пород

Приморском и Хабаровском краях (Чугуевское, Середочное и Угольное месторождения), на Сахалине (Лютюгское), Камчатке (Ягоднинское), Туве, Якутии и Бурятии. На Северном Кавказе также широко распространены цеолитсодержащие породы, являющиеся сырьем многоцелевого использования. Наиболее изученными, перспективными и доступными являются цеолитсодержащие образования палеогена, которые прослеживаются с запада на восток (более 300 км) вдоль северных предгорий Кавказа. Большие залежи цеолитов встречаются вблизи г. Хадыженска и в Крымском районе Краснодарского края.

Представление о химическом составе природных цеолитов дают данные таблицы 156 (Яковлев Е.Н., Нагорокава Л.М., Завойская О.А. и др., 1990).

Таблица 156 – Содержание главных оксидов в цеолитах, %

Тип цеолитовых руд	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Клиноптилолит	68,8	12,0	2,80	2,10	0,95	1,59	3,4
Морденит	71,8	12,7	1,47	1,43	0,34	1,88	5,8
Гейландит	70,1	10,6	1,70	3,30	0,80	4,40	6,0

Основным критерием, положенным в основу классификации цеолитов, служат структурные характеристики, связанные с морфологией кристаллов. Согласно этой классификации, цеолиты делятся на три основные группы: 1) трехмерные каркасные структуры типа филлипсита и шабазита; 2) волокнистые структуры, образованные цепями тетраэдров, слабо связанных между собой в продольном направлении, – например, натролит; 3) пластинчатые структуры, образованные тетраэдрами, сильно связанными в одной плоскости и слабо – в перпендикулярном направлении, – например, гейландит, клиноптилолит. Существует и другая классификация цеолитов, основанная на топологии каркаса. В данном случае каждый каркас изображается в виде отдельных структурных единиц, например, колец тетраэдров. Далее эти конструкции группируются так, чтобы образовать легко идентифицируемые полиэдры или "блоки" структуры. Эта классификация представляет интерес с точки зрения промышленного использования цеолитов.

Термин "**цеолиты**" известен в научной литературе с середины XIX в. Так, Дж. Уэй в 1850 г. писал, что поглощение катионов почвами осуществляется за счет перегной и цеолитов. Под последними автор понимал компонент почвы, растворимый в соляной кислоте. Природу поглощения он объяснял химической реакцией между твердой фазой почвы и солевым раствором. Несколько позднее Ван Беммелен (1876) объяснял поглощение катионов присутствием в почве полуразложившихся останков организмов, гумуса, гидроксидов железа, коллоидной кремнекислоты и аморфных цеолитоподобных силикатов. В свою очередь, К.К. Гедройц (1935) считал, что главными носителями поглотительной способности почв являются органические, органо-минеральные и минеральные коллоиды. Последние он называл цеолитной частью почв. Из вышесказанного не вполне ясно, что же понималось первоначально под термином "цеолиты": отдельные минералы или часть неорганических компонентов почв. Впервые ясность в этот вопрос внес К.Д. Глинка (1906), который называл цеолитами индивидуальные минералы определенного химического состава. По своей химической природе они **представляют собой кристаллические алюмосиликаты каркасного строения.**

Цеолиты состоят из алюмокислородного каркаса, содержащего пустоты и каналы, в которых расположены катионы щелочных и щелочноземельных металлов и молекулы воды. При осторожном нагревании "цеолитовую воду" можно полностью удалить без нарушения структуры минералов. В этом состоит коренное отличие цеолитов от минералов, содержащих конституционную воду, выделение которой возможно лишь при разрушении всей структуры. При нагревании цеолиты вспучиваются. Легкость, с которой вода выходит из цеолитов даже при незначительном нагревании, определила название этого минерала: от греч. *zeo* – "кипеть" + *litos* – "камень". Катионы и вода, связанные с каркасом, могут быть частично или полностью замещены или удалены в процессе ионного обмена и дегидратации. После удаления воды минерал становится как микропористая "губка" с объемом пор до 50 %. Это и создает высокую емкость катионного обмена, что предопределяет особую ценность этого минерала для обеспечения длительного питания растений. У различных цеолитов обменная емкость катионов достигает 1–5 ммоль-эк/г массы. Второе весьма важное свойство цеолитов – их селективность в отношении к катионам. Обмен катионов происходит с выраженной избирательностью к крупным катионам NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+} . Отмечается также их постоянная избирательность к Na^+ . На цеолитах осаждаются остатки пестицидов, спирты, сероводород и ионы тяжелых металлов. Последнее особенно важно для сельскохозяйственной рекультивации земель вдоль автомагистралей с интенсивным движением, где содержание меди, цинка, свинца значительно превышает ПДК.

В целом цеолиты после насыщения NH_4^+ можно рассматривать, как комплексное удобрение длительного действия, включающие помимо азота K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и многие микроэлементы самого цеолита. Осаждение иона аммония в каналах предотвращает его нитрификацию и снижает потери азота из удобрений и почвы. Велика роль цеолита и как пролонгатора минеральных и органических удобрений. Поглощая внесенные в почву химические элементы, он предохраняет их от вымывания и затем постепенно возвращает в почвенный раствор.

Молекулярно-ситовые и каталитические свойства цеолитов определяют широкие возможности использования их для повышения плодородия почв и продуктивности тепличных субстратов, а также для улучшения экологической обстановки окружающей среды. Особенно эффективно использование цеолитсодержащих субстратов в тепличном хозяйстве. С агрономической и производственной точек зрения цеолитовые субстраты отличаются хорошими физическими свойствами, длительностью эксплуатации, отсутствием сорняков, стерильностью и хорошим эстетическим видом. У тепличных растений формируется мощная корневая система, наблюдается более быстрое развитие и плодоношение. Причем, такие субстраты можно использовать на территориях, не пригодных для земледелия. Весьма эффективным является применение цеолитов в орошаемом земледелии, в частности, в рисоводстве. Использование цеолитов под рис позволяет вносить азотные удобрения за один прием и уменьшить их дозу на 25-30 % без снижения урожайности.

Эффективность цеолитов во многом определяется способом и дозой внесения. В защищенном грунте цеолитовые субстраты готовят из цеолита и тепличного грунта в соотношении 1:1 по объему. Под рис их вносят в количестве, равной физической массе азотного удобрения до посева одновременно с минеральными туками (табл. 157; Шеуджен А.Х., 2005).

Таблица 157 – Эффективность применения цеолитов под рис на лугово–черноземных почвах Кубани

Удобрение	Высота растений, см	Длина метелки, см	Пустозерность метелки, %	Масса 1000 зерен, г	Урожайность зерна, ц/га
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀	75,7	13,5	16,0	30,0	48,2
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ +Ц50 %	76,9	14,0	15,9	30,2	49,9
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ +Ц100 %	80,4	14,6	14,8	31,0	53,9
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ +Ц150 %	74,8	13,3	16,6	29,9	50,1
N ₉₀ P ₈₀ K ₆₀ +Ц100 %	79,9	14,3	15,5	31,1	53,2

Более высокие нормы цеолитов вносят под богарные культуры. В этом случае они колеблются от 0,5-5,0 до 20-30 т/га в зависимости от почвенно-климатических условий и биологических особенностей культур.

9.1.2. Бактериальные препараты

Бактериальные удобрения – препараты, в которых содержатся полезные почвенные микроорганизмы; при внесении бактериальных удобрений в почву в зоне корней растений создаются очаги этих микроорганизмов, что усиливает биохимические процессы в почве и улучшает корневое питание.

Л. Доросинский, 1969

Почва заселена огромным количеством микроорганизмов – бактериями, актиномицетами, грибами, водорослями, вирусами и бактериофагами. Общее число микроорганизмов в 1 г почвы доходит до десятков миллиардов, а их масса в 0-20 см ее слое составляет около 10 т/га. Микроорганизмам принадлежит ведущая роль в разложении растительных остатков, синтезе и деструкции гумуса, формировании фитосанитарного состояния почвы, накоплении в ней биологически активных веществ фиксации атмосферного азота. Уровень потенциального и эффективного плодородия почвы в значительной мере обуславливается интенсивностью и направленностью перечисленных выше процессов, что, в свою очередь, регулируется численностью соответствующих микроорганизмов в почве. Для ее обогащения применяют бактериальные удобрения – препараты, содержащие определенные виды полезных бактерий. Наиболее распространенными бактериальными удобрениями являются нитрагин, азотобактерин, фосфобактерин, силикатные бактерии, АМБ и цианобактерин (сине-зеленые водоросли).

В связи со свойствами отдельных видов микроорганизмов и особенностями их культивирования технология изготовления бактериальных препаратов неодинакова. Однако, несмотря на все различия, действующим началом в них являются микроорганизмы, жизнедеятельность которых в почве способствует улучшению условий корневого питания растений. Общей целью производства этих удобрений является стремление накопить в них возможно большее количество жизнеспособных, активных бактерий. Второе требование – все бактериальные удобрения должны сохранять свои свойства не менее чем 9-12 месяцев со дня их изготовления. Наконец, технология производства бактериальных удобрений должна быть как можно более простой, нетрудоемкой, а используемые материалы – дешевы и недефицитны.

Нитрагин – бактериальный препарат, содержащий активные расы клубеньковых бактерий – *Bacterium radicum*, которые живут на корнях бобовых растений и усваивают азот из воздуха, используя при этом поступающие к корням углеводы. Чистая культура клубеньковых бактерий была выделена М. Бейерингом в 1888 г. Клубеньковые бактерии – это граммотрицательные аэробные подвижные палочки размером 0,5–0,9×1,2–3,0 мкм. Каждой бобовой культуре соответствуют специфичные для нее клубеньковые бактерии, интенсивно поглощающий азот атмосферы. Поэтому в зависимости от культуры, под которую его используют, нитрагин должен содержать специфичные, высокой активности и вирулентности штаммы клубеньковых бактерий. *Под вирулентностью понимают способность бактерий проникать через корневые волоски внутрь корня бобового растения и вызывать образование клубеньков. Активность – способность клубеньковых бактерий в симбиозе с бобовыми растениями усваивать азот из атмосферы и снабжать им растения.*

По специфичности выделяются следующие группы бактерий: 1-я – для клевера; 2-я – гороха, вики, чины, чечевицы, конских бобов; 3-я – люцерны, донника и пажитника; 4-я – люпина, сераделлы; 5-я – сои; 6-я – фасоли; 7-я – маша; 8-я – арахиса и коровьего гороха; 9-я – нута; 10-я – для эспарцета.

Прививку клубеньковых бактерий бобовым культурам называют **инокуляцией**. Проводят ее путем обработки нитрагином семян бобовых растений, которые, прорастая, взаимодействуют с клубеньковыми бактериями, проникающими в корни растений.

Выпускают нитрагин трех видов: почвенный, сухой (**ризобин**) и торфяной (**ризоторфин**). Почвенный нитрагин представляет собой культуру клубеньковых бактерий, выращенную в стерильной садовой почве. Стерильную почву, обычно в стеклянных сосудах, инокулируют жидкой культурой клубеньковых бактерий выращивают в термостате при температуре 28°C. В 1 г такого препарата должно содержаться не менее 300 млн. клеток. Более совершенная технология производства сухого нитрагина – порошка высушенных клеток бактерий рода *Rhizobium* в смеси с наполнителем (каолин, бентонит, мел). В 1 г такого порошка при влажности 5–7 % содержится не менее 10 млрд. жизнеспособных клеток бактерий. Исходную культуру клубеньковых бактерий выращивают на одной из агаризированных сред, например, содержащей (г/л): отвар гороха – 100, сахарозы – 15, агар – 20, рН 6,8–7,0. Для получения ризоторфина торф освобождают от корней, высушивают до 25–30 % влажности и размалывают так, чтобы размер частиц не превышал 0,1 мм. Размолотый торф увлажняют до 35–40 %, прибавляют CaCO₃ в таком количестве, чтобы довести рН до 6,8–7,0, и расфасовывают в тонкие полиэтиленовые пакеты по 100–500 г. Запаянные пакеты с торфом стерилизуют радиационным способом с использованием мощных гамма-установок. В пакеты со стерильным торфом в стерильном автоматизированном боксе специальной иглой вносят жидкую посевную культуру в количестве 80 мм на каждые 250 г торфа. Норму засева выбирают так, исходный титр бактерий в инокулированном торфе составлял около 1 млрд. клеток на 1 г препарата влажностью 50–60 %. Содержание клеток клубеньковых бактерий в ризоторфе через 6 мес. после его изготовления должно быть не ниже 3–4 млрд. в 1 г препарата. Нитрагин может быть заводского или местного производства. Заводской нитрагин – почвенный субстрат, обогащенный нужным штаммом клубеньковых бактерий, расфасован в пакеты или бутылки. Местный, приготовленный в хозяйстве, нитрагин – порошок, полученный из корней бобовых культур после их высушивания и расти-

рания. Для этого корни растений берут с поля, на котором урожай бобовых был самым высоким. Для многолетних бобовых следует отбирать корни растений 2-3 года жизни с большим количеством клубеньков. В 1 г порошка местного нитрагина содержится до 20 млн. клубеньковых бактерий.

Обработку семян проводят в день посева в местах, защищенных от попадания солнечных лучей. Для этого гектарную норму нитрагина разбавляют чистой водой из расчета 1 л воды на каждые 140-180 кг крупных семян (горох, фасоль, люпин) и на 40-50 кг мелких семян (клевер, люцерна). Нитрагин тщательно размешивают в воде и, не давая жидкости отстаиваться, полученной почвенной болтушкой опрыскивают семена и тщательно их перемешивают. После легкого подсушивания в течение 10-15 мин семена высевают. Нитрагин применяют для обработки семян именно того бобового растения, для которого он приготовлен. Это требование связано со специфичностью клубеньковых бактерий по отношению к растению-хозяину. Нитрагин не следует открывать до момента его использования. Хранить его лучше всего в сухом помещении при температуре 0-10°C. Протравливание семян ядохимикатами необходимо проводить не позднее, чем за месяц до их инокуляции. Семена, не высеянные в день обработки бактериальным препаратом, на следующий день просушивают и вновь обрабатывают. Прибавка урожая от данного агроприема составляет 10-15 %.

Азотобактерин – бактериальный препарат, содержащий культуру азотобактера – *Azotobacter chroococcum* – микроорганизма, свободноживущего в почве и усваивающего атмосферный азот. Кроме того, азотобактерин выделяет витамины и ростовые вещества, оказывающие на растения стимулирующее действие, и обладает фунгистатическим действием, т.е. препятствует развитию грибов, тем самым предохраняя растения от заражения ими.

Азотобактерин применяется при выращивании любых сельскохозяйственных культур. Для использования в качестве удобрений изготавливается два вида азотобактерина: перегнойно-почвенный, или торфяной, и агаровый. В перегнойно-почвенном азотобактерине культура азотобактера сконцентрирована в богатой перегноем почве или некислотом торфе, а в агаровом – в специальном плотном питательном студне – агаре. Перегнойно-почвенный азотобактерин вносят под зерновые, технические, кормовые и овощные культуры из расчета 3 кг/га, под картофель – 6 кг/га. Внесение азотобактерина производится с семенами, для чего перед посевом или посадкой семенной материал предварительно смачивают водой, затем посыпают азотобактерином и тщательно перемешивают. Агаровый азотобактерин для картофеля берут в количестве 2-3 бутылок, а для остальных культур – одной бутылки на 1 га. За день до посева в каждую бутылку наливают 150-200 мл воды и в течение суток взбалтывают не менее 5-6 раз. Перед обработкой посевного материала гектарную норму азотобактерина разбавляют в 10 л воды. При правильном применении азотобактерин повышает урожайность сельскохозяйственных культур на 10-13 %.

Фосфобактерин – препарат, содержащий спороносную бактерию *Bacillus megaterium var. phospaticum* способную минерализовать фосфор органических соединений. Выпускается в сухом и жидком виде. Сухой фосфобактерин содержит споры бактерий в смеси с каолином. На 1 га посева берут 250 г порошкового фосфобактерина. Для приведения бактерий в активное состояние гектарную норму препарата разводят в 2,5-3,0 л теплой воды, взбалтывают и оставляют на 2-3 ч при комнатной температуре, периодически перемешивая. Этим количеством обрабатывают 150-200 кг семян зерновых культур. Разбав-

ление исходного препарата для обработки семян других культур изменяется с таким расчетом, чтобы 250 г сухого препарата в растворенном виде были нанесены на гектарную норму семян. Жидкий фосфобактерин вносят в количестве 40 мл/га для картофеля и 20 мл/га для зерновых культур. В почве бактерии переходят на развивающуюся корневую систему растений. Здесь их размножение и биохимическая деятельность вызывают разложение органических соединений фосфора, что улучшает питание растений. Фосфобактерин усиливает рост растений на 8-10 % и повышает урожайность. Препарат наиболее эффективен на черноземах и окультуренных почвах, в зоне достаточного увлажнения.

Препарат АМБ. Свое название (АМБ) препарат получил от начальных букв названия группы – автохтонная микрофлора Б. В почве различают два основных сообщества микроорганизмов, жизнедеятельность которых имеет большое значение в повышении почвенного плодородия. Первое сообщество разлагает растительные остатки с образованием перегноя. В него входят грибы, ряд аэробных и анаэробных бактерий, в том числе и масляно-кислые. Это сообщество микроорганизмов получило название автохтонной микрофлоры А (АМБ). **Автохтонная** значит местная, т.е. в данном случае тесно связанная с условиями почвенной среды, присущая почве. Второе сообщество включает микроорганизмы, разлагающие перегной с образованием веществ минерального питания растений. Название этой группы микроорганизмов

Препарат АМБ – содержит микроорганизмы, разлагающие органические вещества и клетчатку с выделением аммиака и осуществляющие процесс нитрификации, фиксирующие атмосферный азот, а также мобилизирующие фосфорную кислоту. Эта группа микроорганизмов способствует питанию растений азотом и зольными элементами. Свое название АМБ препарат получил от начальных букв названия группы – автохтонная микрофлора Б. Препарат готовят на месте его использования из измельченного низинного торфа или торфяной почвы. На 1 т торфа прибавляют 1 ц мелко раздробленного известняка, 2 кг фосфоритной муки и 1 кг маточной культуры, которую приготавливают во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной микробиологии. Компоненты смешивают, увлажняют и выдерживают в течение трех недель при температуре около 20 °С, периодически перемешивая. Подготовленный препарат вносят под предпосевную обработку почв из расчета 0,5 т/га. Препарат рекомендуют применять прежде всего в закрытом грунте. Сложность изготовления препарата ограничивает широкое его использование.

Препараты "**силикатных**" бактерий – бактериальный препарат из "силикатных" бактерий, который представляет собой спорообразующую культуру – *Bacillus mucilaginosus siliceus*. Силикатные бактерии способны разрушать алюмосиликаты и переводить почвенный калий в усвояемую для питания растений форму. Разрушение алюмосиликатов происходит под влиянием кислот, выделяемых микроорганизмами. "Силикатные" бактерии лучше всего размножаются в условиях достаточной влажности, аэрации и близкой к нейтральной реакции среды. Кислые почвы не благоприятны для их развития. Препарат применяют путем бактериализации семян так же, как и другие бактериальные удобрения. В качестве бактериального удобрения приготавливают сухой споровый и агаровый препараты "силикатных" бактерий.

Азолла – водный папоротник, живущий в симбиозе с сине-зеленой водорослью *Anabaena azolla*, способный фиксировать атмосферный азот. Азолла быстро размножается и обогащает рисовые поля азотом. Впервые она была использована вьетнамской крестьянкой Ба-Хен. Эффект от применения азоллы был

так велик, что после смерти этой крестьянки ее обожествили, и в деревне, где она жила, построили пагоду в честь "богини Азоллы". Для практического применения азоллу размножают в небольших водоемах, откуда переносят на залитые водой рисовые поля. С наступлением жаркой погоды, примерно в фазу кущения риса, зеленый ковер из размножившегося папоротника отмирает и растительная масса минерализуется. Азолла накапливает за вегетационный период около 120 кг/га азота, часть которого используется в текущем году. Помимо этого, продуцируется большое количество органического вещества, удобряющего почву. Во время вегетации азолла создает благоприятные условия для развития и роста риса. В настоящее время во Всероссийском НИИ риса изучается возможность ее культивирования на рисовых полях Кубани.

В странах Юго-Восточной Азии иногда азоллу культивируют в течение трех недель в чеках, залитых на 3-5 см водой, перед посевом риса. За этот период ее масса достигает 10 т/га, в которой содержится около 20-25 кг азота. Папоротник запахивают и затем проводят посев риса.

9.1.3. Регуляторы роста растений

*Клетка должна не только поддерживать собственную целостность, но и функционировать согласованно с другими клетками организма растения, поэтому между клетками происходит обмен информацией. Одна группа клеток при этом становится "отправителями" сигнала, а другая воспринимает его. Если сигнал химической природы, молекулу с сигнальной функцией называют **первичным мессенджером** (от англ. message – послание)... Среди обширного списка первичных мессенджеров можно выделить гормоны растений.*

В.В. Чуб, 2005

В числе факторов, обеспечивающих жизнедеятельность растений, не последнюю роль играют гормоны. Являясь посредниками в физиологических процессах, они преобразуют специфические сигналы окружающей среды в биохимическую информацию. **Гормоны растений или фитогормоны** (греч. *hormon* – побуждающий, вызывающий) – низкомолекулярные органические соединения, с помощью которых осуществляется взаимодействие клеток, тканей и органов, необходимые в малых количествах для запуска и регуляции физиологических и морфологических программ онтогенеза растений.

Гормоны, образующиеся в клетках растения, называют **эндогенными**, а используемые человеком для обработки растения или его органов – **экзогенными**.

Потребность растения в гормонах обычно чрезвычайно мала – порядка 10^{-13} - 10^{-5} моль/л, и в большинстве случаев они синтезируются в достаточных количествах самим растением из аминокислот и органических кислот, т.е. из продуктов фотосинтеза и дыхания. Гормоны образуются в отдельных частях растения, но распространяются по всему организму, составляя своеобразное единое гормональное поле. Под их действием происходит общая стимуляция обмена веществ. В свете современных представлений о метаболизме в растительной клетке местом действия физиологически активных веществ могут быть: а) ферменты и ферментные системы; б) белки, липиды, нуклеиновые кислоты, участвующие в молекулярной организации структур цитоплазмы и ядра; в) информационные и транспортные рибонуклеиновые кислоты; г) дез-

оксирибонуклеиновая кислота. Эффект, или "глубина", воздействия зависит от того, на что и в какой мере влияет то или иное физиологически активное вещество. В одних случаях это действие ограничивается лишь временным изменением интенсивности каких-либо ферментативных реакций, в других – оно проявляется в устойчивом отклонении физиолого-биохимических процессов, в третьих – в морфологических процессах, затрагивающих соматическую сферу организма, наконец, в четвертых, – в наследственных морфологических изменениях. К числу наиболее активных и изучаемых соединений гормонального действия растительного происхождения относятся ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота и этилен.

В растениях в отличие от животных нет желез, секретирующих гормоны. *Ауксины* (ИУК) образуются преимущественно в зонах с высокой меристематической активностью: в апексах стеблей, в формирующихся семенах, откуда они передвигаются в базипетальном направлении, попадая в боковые побеги и листья. *Гиббереллины* (ГК) и *абсцизовая кислота* (АБК) синтезируются в основном в листьях и оттуда транспортируются вверх и вниз по стеблю. Кроме того, АБК образуется в корневом чехлике. Местом образования *цитокининов* (ЦК) являются корни, откуда они передвигаются вверх по стеблю в акропетальном направлении.

Ауксины – соединения преимущественно индольной природы. Они инициируют деление клеток и специфически влияют на скорость их растяжения, а также регулируют формирование проводящих пучков, обуславливают явления фото- и геотропизма у растений, связанные с несимметричностью их распределения. Активация растяжения клеток связана со стимулированной ауксином секрецией протонов в клеточную стенку. Возникающая при этом повышенная концентрация ионов H^+ вызывает более активное ферментативное расщепление поперечных связей, соединяющих между собой целлюлозные микрофибриллы. Среди других свойств ауксина следует отметить его способность вызывать партенокарпию, задерживать опадание листьев и завязей, активировать корнеобразование у черенков. Ткани, обогащенные ауксином, обладают аттрагирующим действием – способны притягивать питательные вещества. Кроме ростовых эффектов, ауксин обеспечивает корреляционное взаимодействие между органами растущего растения.

Гиббереллины – фитогормоны, преимущественно производные флуоренового ряда. Эти гормоны стимулируют деление и растяжение клеток апикальных и интеркалярных меристем. Под действием гиббереллинов удлиняются листья, цветки и соцветия. Гиббереллины усиливают рост стеблей значительно сильнее, чем ауксины. В то же время гиббереллины, в отличие от ауксинов, практически не влияют на рост корней. Гиббереллины играют важную роль в процессах прорастания семян и перехода длиннодневных растений к цветению. Они способствуют образованию партенокарпических плодов. Этот фитогормон способен смещать пол растений в мужскую сторону. Влияние гиббереллинов на метаболизм растения связано, прежде всего, с их участием в нуклеиновом обмене. Под действием гиббереллинов индуцируется синтез матричных РНК, которые кодируют образование большинства гидролитических ферментов, прежде всего α -амилазы.

Цитокинины – фитогормоны, преимущественно производные пуринов. Они стимулируют цитогенез, прорастание семян, а также способствуют дифференциации почек. Кроме того, цитокинины обладают способностью задерживать процессы старения растительных организмов и поддерживать нормаль-

ный обмен веществ у пожелтевших листьев, а также вызывать их вторичное позеленение. Большую роль они играют в мобилизации – притягивании питательных веществ к местам своей локализации: плоды, семена, клубни. Цитокинины освобождают боковые почки от апикального доминирования, вызываемого ауксином, и стимулируют их рост. На молекулярном уровне цитокинины в комплексе со специфическим белковым рецептором усиливают активность РНК–полимеразы и матричную активность хроматина; при этом увеличиваются количество полирибосом и синтез белков. Цитокинины причастны к синтезу фермента нитратредуктазы, а также к транспорту ионов H^+ , K^+ , Ca^{2+} .

Абсцизины – естественные ингибиторы терпеноидной природы. Эти фитогормоны задерживают рост в фазе деления и растяжения клеток, не проявляя токсического действия даже в высоких концентрациях. Они индуцируют наступление состояния покоя у растений, ускоряют опадание листьев и плодов (абсцизия), тормозят рост coleoptилей, задерживают прорастание семян. Абсцизины, сдерживая избыточный рост стебля, направляют метаболиты на формирование фотосинтетического аппарата, иными словами, координируют ростовой процесс. Одна из наиболее важных функций абсцизинов – их участие в механизмах стресса путем регулирования устьичных движений. Абсцизовая кислота быстро накапливается в тканях при действии на растения неблагоприятных факторов внешней среды, особенно при водном дефиците, вызывая быстрое закрытие устьиц, что снижает транспирацию и сокращает энергетические затраты. На молекулярном уровне абсцизины могут ингибировать синтез ДНК, РНК и белков. Они могут также снижать функциональную активность H^+ –помпы, что может иметь многообразные последствия.

Этилен – специфический гормон, синтезируемый во всех органах растения из метионина. Он вносит вклад в регуляцию роста и развития растений. В частности, он участвует в поддержании апикального изгиба у выращенных в темноте проростков, вызывает *эпинастию** у листьев и лепестков. Поэтому его используют для ускорения раскрытия цветков. Опускание листьев под действием этилена уменьшает транспирацию. Этилен непосредственно отвечает за контролируемое ауксином подавление роста латеральных почек у растений, обнаруживающих апикальное доминирование. Он тормозит деление клеток и удлинение проростков, изменяет направление роста клеток с продольного на поперечное, что приводит к уменьшению длины и утолщению стебля. Этилен, способствуя старению тканей, ускоряет опадание листьев, увядание цветков и ускоренное созревание плодов. В большинстве случаев этот гормон увеличивает период покоя семян и клубней, способствует смещению пола растений в женскую сторону, а также играет роль медиатора гормонального комплекса в процессах корреляционных взаимодействий в растении. Этилен тормозит полярный транспорт ауксина и способствует образованию его конъюгатов. Кроме того, этилен регулирует реакцию стресса в растениях. На молекулярном уровне этилен повышает проницаемость клеточных мембран и скорость синтеза белка.

Брассиностероиды – гормоны, поддерживающие в норме иммунную систему растения, особенно в стрессовых ситуациях: понижение температуры, заморозки, затопление, засуха, болезни, действие пестицидов, засоление почвы. Стероиды входят в класс терпеноидов, к которым относятся гибберелли-

* Эпинастия – это быстрый рост верхней стороны органа, в результате которого лист или лепесток изгибается книзу.

ны и абсцизовая кислота. Брассиностероиды содержатся в каждой растительной клетке, но их природный уровень в изменившейся экологической ситуации часто оказывается недостаточно высоким для поддержания иммунитета и нормального развития в течение всей вегетации растений.

Таким образом, действие вышеперечисленных гормонов на обмен веществ растительного организма специфично: гиббереллины участвуют в *транскрипции*^{**}, цитокинины – в *трансляции*^{***}, ауксины – в изменении проницаемости мембран, абсцизины ингибируют ионный транспорт и связанные с ним процессы роста клеток, этилен выступает в качестве "разрешающего" фактора роста, контролируя баланс в системе стимуляторы – ингибиторы.

Регуляторы роста растений позволяют усиливать или ослаблять признаки и свойства растений в пределах нормы реакции генотипа. Вследствие этого они являются составной частью комплексной химизации растениеводства. С помощью регуляторов роста компенсируются недостатки сортов и гибридов культурных растений, поэтому они не имеют универсального значения и не могут заменить другие факторы формирования урожая. В связи с этим чрезвычайно важно точно знать механизм их действия на физиолого-биохимическом, молекулярном и генетическом уровнях. Его выяснение позволило синтезировать соответствующие препараты, которые нашли применение в растениеводстве. Современное сельское хозяйство не может обойтись без применения экологически безопасных, генетически безвредных регуляторов роста растений.

Фитогормоны – ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен и абсцизины непосредственно не получили экономически значимого практического распространения. Однако идея их использования в качестве эндогенных регуляторов роста и развития растений привела, в конечном итоге, к созданию синтетических препаратов аналогичного действия. К настоящему времени обнаружено свыше 5 тыс. соединений, обладающих регуляторным действием, но в мировой практике используется лишь около 50. Это свидетельствует о том, что их широкое производственное применение только начинается.

Регуляторы роста наиболее успешно используются в плодоводстве и садоводстве, а также для борьбы с полеганием посевов зерновых культур, для предотвращения прорастания клубней, корнеплодов и луковиц во время их хранения, для борьбы с сорной растительностью.

Для эффективного применения регуляторов роста растений необходимо соблюдать следующие условия:

- 1) положительный эффект может быть достигнут только в том случае, если в растении или в его отдельных органах не хватает эндогенных фитогормонов;
- 2) клетки, ткани и органы должны быть компетентны (восприимчивы) к фитогормонам;
- 3) действие всех регуляторов роста зависит от концентрации. При передозировке наблюдается ингибирующий эффект;
- 4) необходимо достаточное снабжение растений водой и питательными веществами. Регуляторы роста растений не могут заменить питание. По мнению М.Х. Чайлахана (1976), они повышают "аппетит" растения и поэтому стимулируют ростовые процессы.

** Транскрипция – перенос информации о нуклеотидной последовательности ДНК на информационную РНК в процессе синтеза белков.

*** Трансляция – процесс перевода последовательности нуклеотидов информационной РНК в последовательность аминокислот синтезируемого полипептида.

Регуляторы роста растений используют для:

- 1) стимуляции укоренения черенков;
- 2) получения партенокарпических (бессемянных) плодов;
- 3) повышения производства бессемянных сортов винограда;
- 4) прорезивания цветков и завязей у плодовых культур;
- 5) уничтожения сорняков;
- 6) торможения удлинения стебля;
- 7) регуляции покоя;
- 8) ускорения созревания плодов.

Из регуляторов роста ауксиновой природы получили наибольшее применение в сельском хозяйстве 1-нафтилуксусная кислота (1-НУК), индометил-3-масляная кислота (ИМК), 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота (2,4,5-Т), 2-нафтоксиуксусная кислота (2-НОУК), 4-хлорфеноксиуксусная кислота (4Х), гидразид малеиновая кислота (ГМК), 2-метил-4-хлорфеноуксусная кислота (2М-4Х) и 2,4-дихлорфеноксимасляная кислота (2,4-ДМ). 1-НУК и ИМК успешно применяются в садоводстве для укоренения черенков, повышения приживаемости саженцев на новом месте и восстановления корневой системы у пересаженных кустарников и деревьев. Для лучшего укоренения черенки погружают на 12-24 ч в водный раствор, содержащий 50-70 мл/л препарата. 2-НОУК и 4-Х нашли применение в овощеводстве для получения бессемянных плодов и стимуляции плодообразования. Для чего в период цветения помидоров, огурцов, баклажанов, стручкового перца и других овощных культур растения опрыскиваются водным раствором названных препаратов из расчета 40-50 мл/л. 1-НУК и 2,4-Д успешно применяют в садоводстве для снижения предуборочного опадания плодов. Это достигается путем обработки кроны деревьев в период образования плодов 0,0001-0,001 % водным раствором этих препаратов. 1-НУК и ГМК широко используют для задержки прорастания клубней, корнеплодов и луковиц при хранении. Клубни картофеля перед закладкой на хранение обрабатывают 2-3 % метиловым эфиром 1-НУК смешанным с тщательно растертой глиной. Расход препарата на 1 т картофеля составляет 50-100 г. Более технологичным и эффективным для этих целей является ГМК, который применяется путем опрыскивания ботвы 0,2 %-ным водным раствором препарата за 2-3 недели до уборки урожая. Проникая в клубни, ГМК тормозит прорастание глазков в течение 8 месяцев при температуре хранения 10-15°C. ГМК способствует сохранению сахарозы в корнеплодах свеклы в буртах, тормозит прорастание моркови, лука и других овощных культур при их длительном хранении.

Широкое практическое применение получил гиббереллин. Опрыскивание виноградных растений во время цветения водным раствором, содержащим 30-35 г/га гибберелловой кислоты, повышает урожайность бессемянных (кишмишных) сортов на 10-15 %. Этот препарат нашел применение и при выращивании citrusовых. В частности, опрыскивание апельсиновых деревьев, когда плоды еще зеленые, водным раствором гиббереллина задерживает их созревание и улучшает механические свойства кожицы. Гиббереллин способствует выведению из состояния покоя свежесобраных клубней при вторичной летней посадке. Для этого разрезанные клубни на 30-60 мин погружают в водный раствор, содержащий 1-2 мг/л гибберелловой кислоты. Поскольку гиббереллин способствует удлинению междоузлий и нарастанию вегетативной массы, его широко используют для повышения продуктивности кормовых трав. Двукрат-

ное опрыскивание конопли водным раствором из расчета 20 г/га в фазе четырех пар листьев и спустя 15 дней увеличивает выход волокна на 8-12 %.

Гибберелловая кислота высокоэффективна и на посевах риса (табл. 158; Шеуджен А.Х., 2005). Обработка семян гибберелловой кислотой приводит к повышению их полевой всхожести и увеличению плотности продуктивного стеблестоя посевов риса.

Таблица 158 – Эффективность предпосевной обработки семян риса регуляторами роста

Препарат	Энергия прорастания, %	Дружность прорастания, шт./сут.	Скорость прорастания, сут.	Всхожесть, %		Урожайность зерна, ц/га
				лабораторная	полевая	
Контроль	71,4	11,6	3,0	92,6	27,2	64,9
Оксигумат	81,6	14,8	2,9	94,0	33,8	71,0
ГК*	86,0	15,2	2,8	98,5	38,3	74,8
ЯК*	75,5	14,1	2,9	91,6	29,6	66,5
Мивал	76,0	13,0	2,9	95,0	32,7	68,5
Картолин	74,0	12,5	2,9	93,5	30,6	68,3
Кротенолактон	80,6	13,6	2,9	92,5	32,4	70,1
Брассинолид	78,6	14,5	2,9	92,6	36,8	73,2
Квартазин	78,4	14,8	2,9	92,8	31,4	69,9

Примечание: ГК – гибберелловая кислота, ЯК – янтарная кислота

Цитокинины нашли применение в культуре ткани. Они являются обязательным фактором, необходимым для получения культуры дедифференцированной каллусной ткани, а также для индукции затем органогенеза и соматического эмбриогенеза. Цитокинин необходим и для поддержания функциональной активности многих изолированных тканей и органов. Цитокинины могут быть использованы для снижения апикального доминирования и получения более кустистых форм растений, для торможения старения, повышения устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды, для индукции цветения и сдвига выраженности пола в женскую сторону.

Этилен рекомендован в качестве стимулятора созревания плодов и овощей. Для этого, закончившие рост, но еще зеленые плоды, помещают в камеры с температурой 20-22°C, в которые периодически подается этилен из расчета 0,2-1,0 л/м³ в зависимости от вида плодов. Помидоры при этом созревают не за 10-12 сут., как обычно, а за 5-6, лимоны и апельсины достигают полной спелости за 4-5 сут. вместо 20-25.

Из многочисленных известных регуляторов роста растений наибольшую ценность в сельскохозяйственном производстве имеют синтетические ингибиторы роста и, в первую очередь, ретарданты.

Ретарданты – синтетические вещества, тормозящие биосинтез гиббереллинов, подавляющие рост стебля и вегетативных побегов, придающие растению устойчивость к полеганию.

Ретарданты избирательно тормозят рост стебля, не оказывая отрицательного воздействия на физиолого-биохимические процессы, происходящие в растениях. Действие их основано на торможении деления клеток срединной и подверхушечной зон меристемы конуса нарастания, образующих стебель. На

верхушечную зону меристемы, из которой развиваются листья и генеративные органы, ретарданты не оказывают существенного влияния. Эти регуляторы роста тормозят рост клеток стебля в длину и усиливают их деление в поперечном направлении, в результате чего стебель становится более коротким и толстым. Одновременно усиливается развитие механических тканей: утолщаются клеточные стенки, увеличивается число сосудисто-волокнистых пучков (табл. 159; Шеуджен А.Х., 2005). Одновременно с этим ретарданты способствуют росту корней, увеличению площади ассимиляционной поверхности листьев и содержания в них пластидных пигментов, а также повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды.

Таблица 159 – Анатомические показатели стебля при внесении ретарданта сумадик под рис (сорт Краснодарский 86)

Ретардант	Толщина кольца механической ткани, мк	Толщина выполненной части стебля, мк	Диаметр сосудисто-проводящих пучков, мк	Количество сосудисто-проводящих пучков, шт.
Контроль	39,2	1101,8	176,3	46,2
Сумадик	42,8	1152,4	188,7	50,8

В настоящее время выявлено или синтезировано и изучено свыше тысячи химических соединений, обладающих ретардантными свойствами. Большинство из них относятся к четырем группам веществ, различающимся по химическому строению: 1) четвертичные ониевого соединения; 2) гидразинпроизводные; 3) триазолпроизводные; 4) этиленпродуцирующие. Среди ретардантов, созданных на основе четвертичных ониевого солей, наибольшее распространение получили хлорхолинхлорид (ССС), морфол и пикс. Из гидразинпроизводных препаратов практическое значение имеют 2,2-диметилгидразид янтарной кислоты и натриевая соль гидразид малеиновой кислоты. Этиленпродуцирующие препараты представлены 2-хлорэтилфосфоновой кислотой (2-ХЭФК) и ее солями. Из группы ретардантов, производных триазола, наибольшее распространение имеют пакробутразол и униказол. Морфологические проявления рострегулирующей активности всех ретардантов сходны, однако, имеются различия в механизме действия препаратов различных групп. Характерный *ретардантный эффект* препаратов из группы четвертичных ониевого солей обусловлен их способностью прерывать биосинтез гиббереллинов. Введением этих препаратов блокируются образование геранилгеранилпирофосфата и последующая циклизация его в энт-каурен, который у растений является одним из промежуточных звеньев биосинтеза гиббереллинов. Триазолпроизводные препараты блокируют биосинтез гиббереллинов, препятствуя окислению энт-каурена в кауреновую кислоту. В отличие от вышеназванных ретардантов, этиленпродуцирующие препараты непосредственно не прерывают биосинтез гиббереллина, тем не менее, действие их связывают с антигиббереллиновым эффектом, который проявляется или при образовании гормон-рецепторного комплекса или на последующих этапах реализации гормональной активности гиббереллинов. Механизм действия гидразинпроизводных ретардантов также не связан с ингибированием биосинтеза гиббереллинов, а обусловлен подавлением их гормональной активности.

Из всех известных ретардантов наибольшее практическое значение имеет хлорхолинхлорид (ССС), известный в нашей стране под названием Тур. Этот

ретардант дает хорошие результаты на посевах зерновых культур – пшеницы, овса, риса, ржи и ячменя. Для повышения устойчивости к полеганию названных культур хлорхолинхлорид вносят в период кущения – начала трубкования растений из расчета 3-12 кг/га. Данный агроприем не снижает качество зерна, но увеличивает урожай и уменьшает экономические затраты на уборку. Высока эффективность ретардантов и на посевах риса (табл. 160; Шеуджен А.Х., 2005).

Таблица 160 – Урожайность риса сорта Краснодарский 86 при применении ретардантов

Ретардант	Высота растения, см	Длина метелки, см	Полегаемость, балл	Урожайность зерна, ц/га
Контроль	118,5	17,1	2	52,6
ССС, 10 кг/га	112,3	17,3	4	56,9
Ориз, 30 кг/га	100,5	16,9	5	59,0
Сумадик, 30 кг/га	98,3	17,0	5	60,8

Наибольшим ретардантным эффектом и положительным влиянием на урожайность риса обладают новые препараты ориз и сумадик. Способность ретардантов тормозить удлинение стебля используется и в других отраслях растениеводства. Так, обработка загущенных посевов рассады овощных культур 0,5 %-ным водным раствором хлорхолинхлорида предотвращает их вытягивание, что способствует лучшей приживаемости пересаженных растений и повышению урожая. Обработка ретардантами плантаций гвоздики, пиона, хризантемы и других цветочных растений предотвращает чрезмерное удлинение цветоноса, вызванное недостатком света.

Круг применяемых регуляторов роста растений расширяется. Перед современным растениеводством стоит задача применения генетически и экологически безвредных регуляторов роста. Ниже приводим характеристики наиболее распространенных в растениеводстве регуляторов роста.

Брассинолид – 100 %-ный кристаллический порошок; химическая форма $C_{28}H_{48}O_6$. Препарат хорошо растворим в этаноле, но не растворим в воде, малотоксичен, не обладает мутагенным действием. Брассинолид повышает устойчивость растений к гербицидам, а также холодо-, болезне- и солестойкость. Рекомендуются для предпосевной обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Вива – жидкий биостимулятор биологической активности растений и восстановитель почвы. Улучшает рост растения благодаря комплексному синергическому действию, которое он оказывает на растение и его корневую систему. Рекомендуются биостимулятор для регенерации активности микрофлоры после химической обработки почвы (например, после применения нематоцидов, почвенных гербицидов и других пестицидов). В состав биостимулятора входят протеины, пептиды, аминокислоты, полисахариды, гуминовые кислоты, витаминный комплекс, кальций, магний. Применение жидкого биостимулятора Вива: фертигация – внесение с капельным поливом. В песчаных почвах Вива может быть использован для всех поливов с нормой расхода – 0,4 л/га (табл. 161).

Гармония – экологически чистый стимулятор роста растений; вырабатываемый из торфа. Содержит биологически активные компоненты гумусового комплекса. Препарат производится в промышленных масштабах в виде темной густой жидкости в Нижегородской области фирмой "Стрелец".

Таблица 161 – Применение биостимулятора Вива

Культура	Нормы и периоды (время)
Томаты, кабачки, дыня, баклажаны, перец, огурцы	15–20 дней после высадки рассады 1–2 л/1000 м ² , образование завязи на первой кисти 1–2 л/1000 м ² каждые 20–25 дней
Клубника	15–20 дней после высадки рассады 0,5–1 л/1000 м ² начало вегетативного роста, 0,5–1 л/1000 м ² после образования плодов 0,5–1 л/1000 м ²
Бобовые	2–3 листа 0,3–0,5 л/1000 м ² каждые 15–25 дней, 0,5 л/1000 м ²
Гвоздики, хризантемы	15–20 дней после высадки; 2 л/1000 м ² , перед цветением, 2 л/1000 м ² ; после первой срезки, 2 л/1000 м ²
Луковичные и корнеплоды	Начало роста стебля 2 л/1000 м ² перед цветением – 2 л/1000 м ²
Розы	После обрезки, 2–3 л/1000 м ² ; в фазу бутонизации, 2–3 л/1000 м ² ; 20–25 дней после второго применения, 2–3 л/1000 м ²
Цитрусовые, виноград, груша, киви	Цветение, 10–15 л/га; после формирования плодов, 10–15 л/га
Косточковые	После формирования завязи, 5–6 л/га

Механизм действия препарата Гармония заключается в стимулировании биохимических процессов в период прорастания семян и корнеобразования у растений, в активизации фотосинтеза и углеводного обмена в вегетационный период роста и развития растительного организма. Стимулятор роста не является источником минерального питания и не заменяет его, но повышает использование элементов питания из почвы и внесенных удобрений.

Способ применения препарата – предпосевная обработка семян, или опрыскивание вегетирующих растений или сочетание обработки семян с последующим опрыскиванием растений. Можно совместить применение стимулятора роста с некорневой подкормкой макро- и микроэлементами, обработкой посевов и семян пестицидами. Норма расхода препарата Гармония – 0,4–4,0 л/га; перед использованием разводят водой в соотношении 1:100 (1 %) или 1:1000 (0,1 %).

Гиббереллин – продукт микробного синтеза, содержащий до 80–85 % действующего вещества – гибберелловой кислоты, которая является фитогормоном, вырабатываемым всеми растениями. Представляет собой порошок белого цвета, хорошо растворимый в спирте, щелочах и хуже в воде. Для приготовления водных растворов 1 г препарата растворяют в 20 мл спирта, затем полученный раствор разбавляют до соответствующего объема водой. Вместо спирта можно использовать также 0,5 %-й водный аммиак (нашатырный спирт) или раствор кальцинированной соды такой же концентрации. Водные растворы гиббереллина теряют активность при длительном хранении и хранении в кислых и щелочных средах. Приготовленный раствор можно хранить не более 2 сут. в темном месте.

Препарат оказывает специфическое действие на различные растения: усиливает рост побегов, плодов, регулирует процесс цветения, стимулирует прорастание стеблей и клубней. В связи с высокой физиологической активностью препарата для обработки семян и растений используют слабый раствор,

содержащий от 1 до 200 мг гиббереллина на 1 л воды. Используют для обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Гетероауксин – препарат, относящийся к группе природных регуляторов роста и развития растений. Служит для улучшения корнеобразования у рассады, луковиц, растений в период их вегетации. Обработка посадочного материала тюльпанов, гладиолусов, крокусов и некоторых других культур сокращает срок укоренения в два раза, что особенно важно при вегетативном размножении цветов. Обилие корней способствует более быстрому развитию побегов и листьев. Препарат производят в виде растворов, порошков или пасты. Рабочие растворы готовят непосредственно перед употреблением. Оптимальные концентрации: 50–200 мг действующего вещества на 1 л воды.

Гидразидмалеиновая кислота (ГМК) – белое кристаллическое вещество, плохо растворимое в воде. В сельскохозяйственной практике применяются препараты, приготовленные на основе хорошо растворимых в воде его солей – диэтаноламиновой (ГМК-Д), 3-этаноламиновой (ГМК-Т), натриевой (ГМК-Na) и аммониевой (ГМК-NH₄).

ГМК-Д (МГ-Д) – концентрированный раствор ГМК в диэтаноламине, содержащий 30–33 % действующего вещества. ГМК-Т (МГ-Т) – раствор ГМК в 3-этаноламине, содержащий 30 % действующего вещества; вязкая темно-коричневая, жидкость почти без запаха. ГМК-Na (МГ-Na) – водный раствор белой кристаллической натриевой соли ГМК, содержит 40–80 % активного вещества. ГМК-NH₄ (МГ-А) – светло-коричневая, прозрачная жидкость содержит 20–25 % ГМК, рН 7–8. в его состав входит некоторое количество сульфата аммония, который не снижает активность препарата и в то же время служит удобрением.

ГМК является системным регулятором, в зависимости от дозы действует как ингибитор или стимулятор роста растений, либо как гербицид сплошного действия. Его используют для улучшения прорастания семян и повышения лежкости клубней, корнеплодов, луковиц при хранении, а также для предотвращения чрезмерного роста побегов вегетирующих растений, для повышения урожая семян и сахаристости сахарной свеклы. Нормы расхода в среднем составляют 1,25–2,5 кг/га действующего вещества.

Гибберсиб (50 %-ный водный раствор) применяется на томатах открытого и защищенного грунта. Способ применения – двух-, трехкратное опрыскивание растений в начале цветения первой-третьей кистей 0,005–0,0075 %-ным раствором для ускорения созревания плодов, увеличения урожайности.

Гидрел (40%-ный водный раствор) используется при возделывании продовольственного картофеля. Способ применения – опрыскивание клубней при закладке на хранение 0,5%-ным раствором для предотвращения прорастания клубней. Реализация клубней спустя 5 месяцев после обработки.

Препарат применяют также на посевах огурца открытого грунта при однократном опрыскивании растений в фазу двух-трех настоящих листьев 0,025–0,03 %-ным раствором для ускорения начала плодоношения, повышения урожайности.

На томатах открытого грунта опрыскивание растений при созревании 10–30 % плодов 0,1–0,25 %-ным раствором способствует дружному созреванию плодов и увеличению раннего урожая.

Иммуноцитофит – многоцелевой стимулятор защитных реакций, роста и развития растений.

Иммуноцитофит предназначен для повышения устойчивости к болезням и неблагоприятным погодным условиям, ускорения роста и развития растений, созре-

вания плодов, улучшения вкусовых и питательных качеств овощей и фруктов, снижения потерь урожая при хранении, увеличения урожайности на 20–30 %.

Иммуноцитифит повышает болезнеустойчивость. Никаких отрицательных воздействий на растения не оказывает. Препарат не может вызывать отравлений, не нуждается в гигиенической регламентации условий труда при применении, транспортировке и хранении. Накопление препарата в объектах окружающей среды и возможность загрязнения грунтовых и поверхностных вод исключены. Препарат безопасен для пчел. Обезвреживание водного раствора препарата не требуется, отходы и упаковка иммуноцитифита утилизируются в местах сбора бытового мусора.

Для обработки 5 г семян подсолнечника, гороха, кукурузы и овощных культур (томаты, огурцы, арбузы, капуста, лук, свекла и морковь) одну таблетку залить 10–15 мл (столовая ложка) холодной воды, через 20–30 мин перемешать до полного растворения. Семена замочить и выдержать в полученном растворе в течение 3–24 ч в зависимости от культуры, размера семян и технологии посадки. Обработку семян проводить непосредственно перед посевом.

Для обработки 20 кг клубней картофеля или луковиц одну таблетку залить 10–15 мл (столовая ложка) холодной воды, через 20–30 мин перемешать до полного растворения, к раствору добавить 140–150 мл воды. Клубни картофеля или луковицы опрыскать полученным раствором за 2–3 дня до посадки.

Иммуноцитифитом проводят опрыскивание вегетирующих овощных культур, земляники, картофеля, подсолнечника, кукурузы, гороха и цветочных декоративных луковичных культур. Для обработки 50 м² посева этих культур одну таблетку залить 10–15 мл холодной воды, через 20–30 мин перемешать до полного растворения, к раствору добавить 2 л воды и полученным раствором опрыскать растения.

Томаты: 1-е опрыскивание – фаза начала бутонизации, 2-е – цветение первой кисти, 3-е – цветение третьей кисти.

Огурцы и арбузы: 1-е опрыскивание – фаза 2–4 листьев, 2-е – фаза начала цветения, 3-е – фаза массового плодообразования.

Капуста: 1-е опрыскивание – фаза розетки, 2-е – фаза завязывания кочана через (30–40 дней после первого).

Лук: 1-е опрыскивание – фаза 4–5 листьев, 2-е – через 30–40 дней после первого.

Земляника: 1-е опрыскивание – начало обособления цветоносов, 2-е – массовое цветение–конец цветения (через 14–16 дней после первого).

Картофель: 1-е опрыскивание – фаза полных всходов, 2-е – фаза бутонизации – начало цветения.

Подсолнечник: 1-е опрыскивание – фаза полных всходов, 2-е – фаза начало бутонизации.

Кукуруза: опрыскивание в фазе 2–5 листьев.

Горох: 1-е опрыскивание – фаза полных всходов, 2-е – фаза бутонизации – начало цветения.

Цветочные декоративные луковичные культуры (нарциссы и тюльпаны): 1-е опрыскивание – в фазу выдвижения бутонов, 2-е – через 15–20 дней после первого.

Иммуноцитифитом проводят опрыскивание виноградника, яблонь и смородины в период их вегетации. Для обработки 50 м² виноградника, яблони и смородины две таблетки залить 30 мл (2 столовые ложки) холодной воды, через 20–30 мин перемешать до полного растворения, к раствору добавить 3 л воды для кустов и молодых деревьев, 5 л воды – для взрослых деревьев, и полученным раствором опрыскать растения.

Виноград: 1-е опрыскивание – перед цветением, 2-е – через 10–12 дней после первого, 3-е – через 15–20 дней после второго.

Яблоня: 1-е опрыскивание – фаза обособления бутонов – розовый бутон; 2-е – сразу после цветения; 3-е – в период образования завязи – роста плодов (через 10–30 дней после второго).

Смородина: 1-е опрыскивание – фаза распускания почек – начало цветения; 2-е – фаза окончания цветения; 3-е – через 20–30 дней после второго.

Водный раствор иммуноцитифита использовать в день приготовления. Не обрабатывать во время дождя или перед ним и по росе. Нельзя применять в смеси с перманганатом калия. В случае возможной эпифитотийной ситуации (теплой и влажной погоде), способствующей развитию грибковых и бактериальных заболеваний, необходимо обработать растение фунгицидом через 2 недели после последней обработки иммуноцитифитом.

Кампозан М (в. р.) применяется для предотвращения полегания посевов. С этой целью озимую рожь в фазу колошения обрабатывают 0,8–1%-ным раствором препарата при наземном опрыскивании и 2,4–6%-ным – при авиационном, а озимый ячмень за 10 дней до начала фазы колошения – соответственно 0,23–0,5 % и 1,4–4 %-ным раствором.

Кампозан М (в. р.) + **хлорхалинхлорид** (60 %-ный в. р.) применяют для предотвращения полегания посевов. Способы применения – наземное и авиационное опрыскивание. Дозы препарата – 1,5–2 + 3–3,3 л/га для озимой ржи в фазу выхода в трубку, 1–2 + 3–5 – для озимой пшеницы в период от начала выхода в трубку до середины фазы трубкования, 1–2 + 3 л/га – для озимого ячменя за 10–12 дней до начала фазы колошения.

Кротонолоктон – жидкость красно-желтого цвета с 50 % содержанием действующего вещества – 2-бутен-4-олит-оксо-2,5-дигидрофуран. Растворим в воде, бензоле, этаноле, эфире. Рекомендуется для предпосевной обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Квартазин – 95 % кристаллический хорошо растворимый в воде порошок. Действующим веществом этого препарата является хлорид, диметил (2-хлорэтил) – гидрозиния. Препарат легко поглощается и быстро трансформируется в растениях. Рекомендуется для предпосевной обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Мегафол – жидкий биостимулятор, произведенный из растительных аминокислот с содержанием прогормональных соединений. Компоненты его получены путем энзимного гидролиза высоко-протеиновых растительных субстратов.

Применение препарата Мегафол обеспечивает сбалансированное питание растений. При совмещении с некорневыми подкормками усиливает действие удобрений, играя роль транспортного агента. Также он крайне необходим для преодоления стрессов при использовании пестицидов. Мегафол стимулирует обмен веществ и другие процессы, происходящие в растениях. В состав входят: аминокислоты – w/w 28,0 %, азот органический – w/w 4,5 %, растворимый калий – w/w 2,9 %, органический углерод – w/w 15,0 %

Мегафол применяют под различные культуры:

Плодовые и ягодные культуры: (виноград, яблони, груши, клубника, малина, персик, цитрусовые, оливы, абрикосы, тропические фрукты): 250–350 мл/г/л перед цветением, также при завязывании и формировании плодов.

Овощные культуры: (томаты, сладкий перец, баклажаны, кабачки, огурцы, листовые овощи и т.д.): 250–350 мл/г/л в открытом грунте, 150–200 мл/г/л в теплицах, применяя каждые 10–15 дней после высадки.

Зерновые, зернобобовые и кукуруза: 0,5–1,5 л/га (кущение – выход в трубку + колошение).

Технические культуры: (подсолнечник, соя, табак, сахарная свекла, рапс, хлопок) 1,0–2,0 л/га.

Недопустимы комбинации Мегафола с минеральными маслами. Комбинация Мегафола с медьсодержащими фунгицидами допустима только для применения на винограде и томатах. Перед обработкой слив необходимо тестирование на небольшом количестве деревьев каждого сорта. При комбинации с Бластер Н, рекомендуется соотношение 150+150 г/гЛ. При комбинации с удобрениями ряда Мастер, Плантафол норма расхода Мегафола – 0,15–0,5 л/га.

Нефтяное растное вещество представляет собой натриевую соль нафтенных кислот. Под воздействием препарата повышаются энергия прорастания и всхожесть семян, рост и продуктивность растений.

Рекомендуются для обработки семян зерновых культур, которую проводят непосредственно перед севом 0,01 % водным раствором полусухим способом – 10 л рабочего раствора на 1 т посевного материала.

Ориз – 0,6 % гранулированный препарат. Обладает ретардантным эффектом на рисе. Действующее вещество пакробутразол. Ориз слабо токсичен для теплокровных. ЛД₅₀ препарата для крыс 1500 мг/кг. Препарат не воспламеняется, не взрывоопасен, не слеживается, не вызывает коррозии. Срок хранения ориза 2 года.

Ориз в дозе 30 кг/га вносят под рис в фазе выхода растений в трубку.

Радифарм – жидкий биостимулятор для развития корневой системы. Радифарм – комплекс растительных экстрактов, содержащий полисахариды, стероид глюкозида, аминокислоты и бетаин, обогащенный витаминами и микроэлементами. Радифарм стимулирует развитие боковых и дополнительных корней, тем самым, способствуя развитию всей корневой системы растения. Радифарм помогает растению пережить травмы при пересадке, а также неблагоприятные факторы среды, такие, как высокая температура, избыток влаги в воздухе и почве. Растения, обработанные Радифармом, быстро поглощают воду и питательные элементы, тем самым, иницируя более раннюю фотосинтетическую активность и укорачивая цикл созревания урожая. Состав Радифарма: органические вещества w/w 30,0 %, полисахариды w/w 7,00 %, стероид глюкозида w/w 0,2 %, протеиновые полипептиды w/w 11,0 %, свободные аминокислоты w/w 1,0 %, витаминный комплекс w/w 0,04 %, хелатное железо w/w 0,20 %, хелатный цинк, w/w 0,20 %.

Применяют Радифарм путем фертигации:

Овоци: при высадке рассады 400–500 мл/1000 м² и через 7 дней – 200–300 мл на 1000 м². применяют путем полива раствором, содержащим 100–300 мл препарата на 100 л воды.

Цветы: при посадке 400–500 мл/1000 м² почвы и через 7 дней – 200–300 мл/1000 м² почвы. Горшечные или декоративные растения: 2–3 применения каждые 7 дней после посадки в горшок, дозировка 2,5 мл/м³ воды

Фруктовые и лесные деревья: При посадке – 200–300 мл/растение.

Сельтард – 6 % желтовато-коричневый или бесцветный кристаллический порошок без специфического запаха. Обладает ретардантным действием. Эффективен на посевах риса. В фазе выхода растений в трубку вносят в дозе 2,5 кг/га. Температура плавления – 210 °С. Препарат не взрывоопасен и не вызывает коррозии. Сельтард хорошо растворим в ацетоне, метанале, но плохо растворим в воде. Мало токсичен для теплокровных. ЛД₅₀ препарата для крыс 5000 мг/кг.

Свит – концентрированный раствор моно-ди-три-полисахаридов, уроновых кислот, вместе с мезо- и микроэлементами. Без синтетических гормонов. Биостимулятор способствует вызреванию и получению качественных плодов. Используется на последних стадиях роста растений. Улучшает окраску плодов и расцветку цветов, повышает концентрацию сахаров, укрепляет ткань плодов, улучшает лежкость плодов и позволяет получить более раннюю продукцию.

Свит разработан для улучшения качества и повышения урожайности плодовых, овощных и цветочных культур, сохранения вкуса и товарного вида плодов при транспортировке и длительном их хранении. В состав биостимулятора входят моно-ди-три-полисахариды w/w 25,0 %; уроновые кислоты w/w 0,2 %; мезоэлементы (СаО, MgO) w/w 11,0 % микроэлементы (В, Zn, Со) w/w 0,23 % (табл. 160). Рекомендации фирмы-производителя по применению Свита приведены в таблице 162.

Таблица 162 – Нормы и сроки обработки растений биостимулятором Свит для некорневых подкормок

Культура	Нормы и сроки
Яблоня, груша	0,5–1,0 л/га при появлении окраски плодов, 0,5–1,0 л/га за 20 дней до сбора урожая
Косточковые	0,5–1,0 л/га при появлении окраски плодов, 0,5–1,0 л/га за 10–15 дней до сбора урожая
Виноград	0,5–1,0 л/га при появлении окраски плодов, 0,5–1,0 л/га за 20 дней до сбора урожая
Томаты	0,5–1,0 л/га при появлении окраски плодов
Перец, баклажаны	0,5–1,0 л/га за 7–10 дней до сбора урожая
Цветы	200–300 мл/100л при открытии бутона
Арбуз, дыня	0,5–1,0 л/га после формирования плода и через 10–15 дней
Клубника	0,5–1,0 л/га после побеления ягоды и через 8–10 дней
Сахарная свекла	0,5–1,0 л/га в период роста корнеплода

Дозы рассчитаны на стандартный объем расхода рабочего раствора – 1000 л/га, (полевые культуры – 200 л/га). Применение биостимулятора Свит может совмещаться с применением средств защиты растений и корректирующим питанием комплексом Мастер, при этом доза регулятора роста сокращается в два-три раза. Более высокий результат достигается при сочетании с Мегафолом. (0,2–0,3 л/га).

Силк – препарат, относящийся к группе природных регуляторов роста. Выделен методом экстракции из хвои пихты сибирской *Abies Sibirica Ledb.* Характеризуется четко выраженным ростстимулирующим иммунозащитным действием. Действующим веществом являются природные тритерпеновые кислоты. Химическая формула $C_{30}H_{46-48}O_4$. Выпускается в нескольких препаративных формах – Силк ВЭ (50 г/л), Силк ТАБ (100 г/кг), Силк П (100 г/кг) и Силк Г (100 г/кг).

Физиологическая активность тритерпеновых кислот проявляется в выведении семян из глубокого покоя и стимуляции их прорастания за счет инициации растяжения клеток в корне, coleoptile, а затем в стеблях и листьях. Терпеноиды положительно воздействуют на процесс фотосинтеза в растениях, повышая фотохимическую активность хлоропластов и увеличивая интенсивность фотосинтетического фосфорилирования. Они также усиливают транспирацию, регулируя открывание устьиц. Силк стимулирует устойчивость растений к абиотическим стрессам и грибковым заболеваниям, что, ве-

роятно, связано с ростом образования в клетках антистрессовых белков и других компонентов системы фитоиммунитета.

Силк совмещается с гербицидами и фунгицидами. Начинает действовать через 4–6 сут. после применения. Не фитотоксичен, резистентности не наблюдается. Способ применения: обработка семян, опрыскивание вегетирующих растений.

Сумадик – 0,04 % гранулированный препарат. Обладает выраженным ретардантным эффектом на посевах риса. В фазе выхода растений в трубку, вносятся из расчета 30 кг/га. Действующее вещество униканозол. Сумадик слабо токсичен для теплокровных. ЛД₅₀ препарата для крыс 2000 мг/кг. Препарат не воспламеняется, не взрывоопасен, не слеживается, не вызывает коррозии.

Фузикоцин – метаболит фитопатогенного гриба *Fusicoccum amygdali Del.*, получивший широкую известность как регулятор роста растений. Выделен из фильтрата культуральной жидкости. Это – гликозид карботрициклического дитерпена с молекулярной массой 680 и 5 рутто – формулой C₃₆H₅₆O₁₂.

Фузикоцин в концентрации 10⁻¹⁶–10⁻⁴ М стимулирует прорастание семян и рост растений, индуцирует корнеобразование черенков.

Хлорхолинхлорид. Химический чистый хлористый (2-хлорэтил)–триметиламмоний (ССС) – белое кристаллическое гидроскопическое вещество с температурой плавления +245 °С, молекулярной массой 158,1. Хорошо растворяется в воде, спирте и в других полярных растворителях. В водных растворах СССР полностью диссоциируют с образованием ионов хлора и β-хлорэтилтриметиламмония.

Действие хлорхолинхлорида и его аналогов проявляется главным образом в торможении растяжения клеток субапикальной меристемы. Препарат обладает заметным ретардантным эффектом. При обработке растений хлорхолинхлоридом полость стебля на уровне нижних междоузлий почти вся заполняется паренхимной тканью и возрастает количество сосудисто-волокнистых пучков. Повышение удельного веса механических тканей и обуславливает упрочнение соломины. Под действием препарата увеличивается содержание клетчатки и лигнина в соломинке.

Опрыскивание посевов хлорхолинхлоридом зеленных культур проводят в фазу выхода растений в трубку. Рекомендуемые нормы действующего вещества 4 кг/га для низкорослых сортов и 6–8 кг/га для высокорослых; количество воды – 100 л/га при использовании наземной аппаратуры и 25 л/га при авиаопрыскивании.

Циркон – регулятор роста, корнеобразователь, индуктор цветения, болезнеустойчивости, получен из растительного сырья.

Применение Циркона обеспечивает увеличение всхожести и ускорение прорастания семян; ускорение роста и развития растений на 5–10 дней; увеличение урожайности на 35–60 %; улучшение качества полученной продукции; снижение накопления тяжелых металлов; стимулирование плодо- и корнеобразования; защиту растений от заморозков, засухи, избытка влаги, недостатка освещенности, ускоряет начало цветения декоративных культур, повышает выход стандартной продукции.

Использование Циркона резко снижает степень поражения такими заболеваниями, как: фитофтороз картофеля и томатов, парша картофеля и яблони, бактериоз и фузариоз овощных и цветочных культур, серая гниль земляники и, особенно мучнистая роса на розах и черной смородине.

Препарат практически не опасен для человека, теплокровных животных, рыб, полезных насекомых, пчел (IV класс опасности), не накапливается в почвах, не загрязняет грунтовые и поверхностные воды, не фитотоксичен.

Хранят его отдельно от пищевых продуктов при температуре не выше +25°C. Применяют при стрессовых условиях выращивания растений (пересадка, заморозки, болезни). Согласно рекомендациям фирмы-производителя, 1 мл Циркона разводят в 10 л воды и равномерно опрыскивают растения (табл. 163).

Таблица 163 – Применения Циркона на различных культурах

Культура	Норма расхода	Способ и сроки обработки
Картофель	0,5 мл/л воды	Предпосевная обработка клубней. Расход 1 л /100 кг
	0,33 мл/л воды	Опрыскивание растений в фазу полных всходов и фазу начала бутонизации. Расход 3 л/100м ²
Огурцы	0,22 мл/200 мл воды	Замачивание семян на 8 ч. Расход 200 мл/200 г.
	1 мл /10 л воды	Опрыскивание растений в фазу бутонизации. Расход 3 л/100 м ²
Томаты	1,25 мл/100 г	Замачивание семян в течение 1 ч. Расход 150 мл/100 г
Перец	0,04–0,06 мл/100 мл воды	Замачивание семян на 2 ч. Расход 100 мл/100 г.
	1мл /10 л воды	Опрыскивание растений в фазу цветения. Расход 3 л/100 м ²
Капуста	0,25 мл/10 л воды	Опрыскивание растений в фазу завязывания кочана. Расход 4 л/100 м ²
Морковь	0,13 мл/10 л воды	Опрыскивание растений в фазу пучковой спелости (8–10 листьев). Расход 3 л/100 м ²
Горох	0,04 мл/100 мл воды	Предпосевная обработка семян. Расход 100 мл/кг
	0,3 мл/10 л воды	Опрыскивание растений в фазу бутонизации. Расход 3,5 л/100 м ²
Яблоня	0,1мл/100 мл воды	Замачивание черенков на 18 ч. Расход 100мл/20 черенков
	1мл /10 л воды	Опрыскивание в фазу бутонизации. Расход 5–10 л/дереву
Черешня	2,5 мл /10 л воды	Опрыскивание в фазу бутонизации. Расход 5–10 л/дереву
Вишня	0,5 мл/1 л воды	Замачивание черенков на 18 ч. Расход 100 мл/20 черенков
	2,5 мл/10 л воды	Опрыскивание в фазу бутонизации. Расход 5–10 л/дереву
Слива	0,02 мл/100 мл воды	Замачивание черенков на 18 ч. Расход 100 мл/20 черенков
Алыча	2,5 мл/10 л воды	Опрыскивание в фазу бутонизации. Расход 5–10 л/дереву
Земляника	0,3 мл/10 л воды	Опрыскивание в фазу бутонизации. Расход 3 л /100 м ²
Смородина	0,4мл/10 л воды	Опрыскивание в фазу бутонизации. Расход 4 л /100 м ²
Роза	0,02 мл/100 мл воды	Замачивание черенков на 4 ч. Расход 100 мл/20 черенков
	1–2 мл/10л воды	Опрыскивание в начале отрастания побегов. Расход 4 л/100 м ²
Хризантема	1мл /1 л воды	Опрыскивание перед формированием бутонов. Расход 1 л/30 м ²
Груша	0,05 мл/200 мл воды	Замачивание черенков на 18 ч. Расход 200 мл/40 черенков
Туя, ель	0,05 мл/100 мл воды	Замачивание черенков на 14 ч. Расход 100 мл/10 черенков

Эпин – препарат, относящийся к группе природных регуляторов роста растений. Повышает иммунитет у растений, сглаживает последствия пересадки растения. Применяется как для замачивания семян и луковиц, так и для опрыскивания в фазе бутонизации и цветения растений (табл. 164).

Таблица 164 – Нормы и способы применения Эпина

Культура	Норма расхода препарата	Назначение	Способ, время обработки, особенности применения
Картофель	1 мл/0,25 л воды	Улучшение клубнеобразования, повышение урожайности и питательной ценности клубней, стимулирование иммунной системы, повышение устойчивости к фитотрофу, снижение аккумуляции нитратов, солей тяжелых металлов и радионуклеидов	Обработка клубней. Расход – 0,25 л/50 кг Опрыскивание в фазе бутонизации. Расход – 3 л/100 м ²
	1 мл/5 л воды		
Томаты	0,5 мл/2 л воды	Повышение энергии прорастания и всхожести, усиление защитных свойств к неблагоприятным условиям внешней среды	Замачивание семян на 2 ч. Расход – 2 л/кг
	1 мл/5 л воды	Увеличение количества завязей, предотвращение их опадения, ускорение созревания плодов и улучшение их качества, повышение устойчивости к заболеваниям, фунгипротекторное действие, снижение аккумуляции радионуклеидов, нитратов, солей тяжелых металлов	Опрыскивание в фазе бутонизации. Расход – 3–4 л/100 м ²
Огурцы	0,25 мл/1 л воды	Повышение энергии прорастания и всхожести, усиление защитных свойств к неблагоприятным условиям внешней среды	Замачивание семян на 2 ч. Расход – 1 л/кг
	1 мл/5 л воды	Ускорение образования и предотвращение опадения завязей, повышение урожая, стимулирование иммунной системы, повышение устойчивости к переноспорозу, снижение содержания нитратов и накопления тяжелых металлов	Опрыскивание в фазе 2–3 настоящих листьев и повторное в фазе бутонизации. Расход – 3–4 л/100 м ²
Перцы	0,1 мл/2 л воды	Повышение энергии прорастания и всхожести семян, усиление защитных свойств к неблагоприятным условиям внешней среды	Замачивание семян на 2 ч. Расход – 2 л/кг
	1 мл/5 л воды	Ускорение образования завязей и предотвращение их опадения, повышение урожайности, стимулирование иммунной системы, снижение содержания радионуклеидов и тяжелых металлов	Опрыскивание в фазе их бутонизации и цветения. Расход – 3–4 л/100 м ²
Яблоня	2 мл/5 л воды	Стимулирование образования завязей, предотвращение их опадения, повышение урожайности и засухоустойчивости, стимулирование иммунной системы, повышение устойчивости к парше обыкновенной, снижение содержания радионуклеидов и накопления тяжелых металлов	Опрыскивание по розовому бутону и повторно через 20 дней. Расход – 5–6 л/100 м ²

Эпин-экстра, обеспечивает: ускорение прорастания семян, укоренение рассады при пикировке и пересадке; ускорение созревания и увеличение урожайности; защиту растений от заморозков и других неблагоприятных природных условий; устойчивость к фитофторозу, парше, бактериозу и фузариозу; возрождение ослабленных и омолаживание старых растений за счет стимуляции бокового побегообразования; нейтрализацию нитратов, тяжелых металлов, радионуклидов.

Применение: предпосевная или предпосадочная обработка. *Семена овощных культур* замачивают в растворе Эпина-экстра (1–2 капли на 100 мл воды для томатов, огурцов, перцев и баклажанов) 18–20 ч при температуре 20 °С. *Семена цветочных культур* – 4 капли Эпина-экстра на 100 мл воды на 18 ч. *Луковицы цветочных культур* и черенки замачивают перед посадкой в растворе Эпина-экстра (1 мл на 2 л воды) 24 и 12 ч соответственно. *Клубни картофеля* опрыскивают перед посадкой (1 мл на 250 мл воды на 50 кг клубней картофеля).

Опрыскивание вегетирующих растений. 1 мл Эпина растворяют в 5 л воды и тщательно перемешивают. Опрыскивание проводят, равномерно смачивая листья. Рабочий раствор используют в день приготовления, не допуская щелочной реакции раствора. Обработка растений проводится в следующие фазы: картофель, томаты – бутонизация – начало цветения; корнеплоды – по всходам; огурцы – 2–3 настоящих листа с повторением в фазу бутонизации; перцы – в начале бутонизации с повторением в фазу цветения; тюльпаны – при появлении бутонов; плодовые – в фазе бутонизации с повторением через 20 дней. Расход рабочего раствора 2–5 л на молодое дерево и 5–8 л на взрослое. При стрессовых условиях выращивания (недостаток света, заморозки, болезни) опрыскивания проводят каждые 7–10 дней до полного исчезновения признаков болезни у растений.

Этилен – природный регулятор развития растений, образуется в растительной ткани на отделенных фазах вегетации и способствует созреванию плодов, изменяет интенсивность дыхания и активность ферментов. Примененный извне (экзогенно) также способствует ускорению созревания плодов, вызывает пожелтение листьев, дефолиацию.

Этилен – газ со сладковатым запахом, горит светящим пламенем. С кислородом и воздухом образует взрывчатую смесь. Пределы взрывоопасных концентраций в воздухе составляют 3–34 объемных процента. Как регулятор роста, применяется в герметичных камерах, куда подается один раз в сутки в таком количестве, чтобы обеспечить концентрацию его в воздухе 1:2000 – 1:5000 по объему. В камеру помещают зеленые или недозревшие плоды и выдерживают их 2–3 сут. в присутствии этилена при температуре 18–22 °С и относительной влажности не ниже 85 %. Обработка плодов этиленом не влияет на их вкусовые и питательные качества.

Этрел – препарат американского производства, приготовленный на основе 2-хлорэтилфосфоновой кислоты (фосфонатр). Используется как ингибитор роста, дефолиант, стимулятор созревания плодов и отделения их от плодоножек. Каждый литр этрела содержит 480 г действующего вещества. Будучи распыленным в виде водных растворов на поверхность растений, поглощается им в течение суток полностью, а за первые 2–3 ч на 75 %. В растительных тканях этрел разлагается на соляную, фосфорную кислоты и этилен, который оказывает физиологическое воздействие на растение.

Этрел – это жидкость с сильно выраженными кислотными свойствами. При pH более 4 препарат начинает разлагаться, поэтому при работе с ним нужно избегать контактов со щелочами, а растворы следует готовить непосредственно перед применением. При обработке препаратом рекомендуют

хорошо смачивать растение, для чего используют около 1000 л/га раствора при концентрации не выше 0,07–0,1 %.

Янтарная кислота – один из наиболее эффективных биогенных регуляторов роста. Она играет важную роль в обмене веществ растений, образуясь в свободном виде в организме при распаде изолимонной кислоты и окислительном превращении кетоглютаровой кислоты. Одним из механизмов положительного влияния янтарной кислоты на жизнедеятельность растения считается стимулирование дыхания, интенсивность которого определяет уровень метаболизма растительного организма.

Для получения янтарной кислоты обычно используют бактериальное брожение виннокислого аммония или яблочнокислого кальция. В качестве побочного продукта янтарную кислоту получают при перегонке отходов янтаря. Синтетическую янтарную кислоту получают из дибромэтана через соответствующий дицианид, а также каталитическим восстановлением малеиновой или фумаровой кислот. Разработана методика получения янтарной кислоты из отходов фурфурола (кубового остатка) гидролизных заводов фурановых соединений. Фурфурол получают из гуза-паи и шелухи хлопчатника, а также из стеблей подсолнечника. Янтарная кислота, получаемая из этих отходов, содержит 2 % фумаровой кислоты. Смесь янтарной и фумаровой кислот по действию на растение не уступает чистой янтарной кислоте.

Янтарная кислота применяется в концентрациях 0,001–0,01 % для предпосевной обработки семян. Такая обработка стимулирует прорастание семян и рост растений.

9.2. Дефолиация, десикация и сеникация

Возможность химического регулирования роста и развития растений не может быть ограничена только ранними этапами онтогенеза и основными периодами формирования урожая. Отдельные культуры не успевают полностью созреть до наступления осенней неблагоприятной погоды, что приводит к снижению количества и качества урожая. Для ускорения созревания в предуборочный период применяют химические препараты: дефолианты, десиканты и сениканты.

9.2.1. Дефолиация

Дефолиация – обезлиствение, предуборочное искусственное удаление листьев растений для облегчения механизированной уборки урожая. Проводят ее химическими веществами-дефолиантами, которые вызывают в растениях процессы, аналогичные происходящим при старении листьев и их естественном опадении.

К. Овчаров, 1971

Дефолиация – искусственное предуборочное удаление листьев у растений. При дефолиации происходит отток питательных веществ из отмирающих вегетативных органов в генеративные – плоды и семена.

Анатомо-физиологические признаки действия дефолиантов характеризуются, как и при естественном листопаде, образованием отделительного слоя клеток возле основания черешка листа. В результате разрываются покровные ткани черешка и сосудисто-волокнистых пучков, что и обуславливает опадение листа. Перед опадением из листьев происходит отток питательных веществ и физиологически активных элементов протоплазмы клеток: аминокислот, продуктов гидролиза белков, витаминов, ферментов, органических кислот. Указанные вещества используются на построение созревающих плодов и семян.

Дефолианты наиболее широко применяются в хлопководстве. Наличие зеленых листьев на растениях во время сбора хлопка из раскрывшихся коробочек является препятствием для высокопроизводительной работы хлопкоуборочных машин. Рабочие органы обрывают листья и выжимают из них зеленый сок, пачкающий сырец. Попадая в хлопок-сырец, листья быстро засыхают, крошатся и засоряют его. Испаряющаяся из листьев влага поглощается волокном. При этом влажность убранного хлопка-сырца значительно повышается, что приводит к необходимости проведения дополнительной сушки хлопка-сырца машинного сбора. Проведение дефолиации устраняет причины, препятствующие механизированной уборке хлопчатника, не вступая в противоречие с биологией самого растения. Дефолиация по времени совпадает с прекращением образования у хлопчатника плодоземелентов, замедлением роста стебля, почти полным прекращением потребления питательных веществ, прекращением накопления сухой массы, началом процесса естественного листопада. Дефолианты стимулируют образование отдельного слоя у черешка листьев, чем значительно ускоряют их опадение.

Широкое применение дефолианты получили и в виноградарстве. Здесь они используются на плодоносящих насаждениях для подготовки фона при механизированной уборке урожая, в питомниководстве – для удаления листьев у саженцев перед их выкопкой из школки и на маточниках привоя – для облегчения заготовки черенков в доморозный период. Обезлиственные саженцы винограда легче выкапывать, укладывать на хранение, в процессе которого уменьшается возможность развития грибковых заболеваний.

Высокие результаты показала и дефолиация клещевины (табл. 165; Анненкова Г.Н., Смирнова Р.И., 1968). Этот агроприем значительно облегчает уборку культуры, позволяет проводить ее в лучшие и сжатые сроки. Урожай клещевины с дефолированных посевов, как правило, на 6–8 % менее засорен посторонними примесями, влажность убранных семян на 7–10 % ниже, чем с необработанных участков.

Таблица 165 – Эффективность дефолиации клещевины хлоратом магния

Дефолиант	Количество листьев перед уборкой шт./растение	Влажность семян перед уборкой, %
Контроль	10,7	12,8
Хлорат магния, 15 кг/га	3,4	5,7

Наиболее распространенными и эффективными дефолиантами являются цианамид кальция, хлорат магния, хлоратхлорид кальция и бутифос.

Цианамид кальция ($CaCN_2$) – плохорастворимый в воде пылящий порошок темно-серого цвета с характерным ацетиленовым запахом. Содержит 50–55 % цианамида кальция, 18–20 % цианамидного азота и 0,5–1,5 % минерального масла. Он среднетоксичен для теплокровных животных, ЛД₅₀ для мышей равен 400 мг/кг, обладает раздражающим действием при попадании на слизистые оболочки, кожу, наконец, в дыхательные пути. При воздействии атмосферной влаги и росы на цианамид кальция образуются однозамещенный цианамид кальция и гидроксид кальция. Дальнейший гидролиз однозамещенного цианамида кальция приводит к образованию свободного цианамида. Свободный цианамид растворим в воде, и хорошо проникает в листья, что и вызывает их опадение. Для проявления дефолирующего действия цианамида кальция на растения необходимо, чтобы листья были увлажнены росой. В этом случае образование однозамещенного цианамида кальция и свободного цианамида, а также проникновение по-

следнего в растения происходит довольно быстро – примерно в течение одного часа. На скорость проникновения цианамид в листья оказывает существенное влияние температура воздуха. Повышение температуры в диапазоне от 10 до 20°C увеличивает скорость его проникновения в листья более чем в 3 раза. Проникший в листья цианамид образует малорастворимые соли с медью, железом, цинком и другими металлами, и, следовательно, блокирует ферменты, регулирующие фотосинтез, разрушает хлорофилл и другие пластидные пигменты. В результате подавления фотосинтеза в листьях резко уменьшается содержание углеводов. Одновременно с этим цианамид кальция разрушает белковые соединения и инактивирует фермент каталазу, что, в конечном итоге, приводит к резкому падению интенсивности дыхания. Образующиеся при распаде белковых соединений продукты оттекают в генеративные органы растения.

Цианамид кальция используется для дефолиации хлопчатника способом опыления растений за 10–15 дней до сбора урожая при норме расхода 35–60 кг/га. Обработка хлопчатника этим препаратом в оптимальные сроки не оказывает отрицательного влияния на технологическое качество волокна.

Хлорат магния $[Mg(ClO_3)_2 \cdot 6H_2O]$ – гигроскопичный порошок, хорошо растворимый в воде или бесцветное кристаллическое вещество с содержанием 58–62 % действующего вещества – гексагидрата хлората магния. Он не взрывается и безопасен в пожарном отношении. Для теплокровных животных хлорат магния среднетоксичен; ЛД₅₀ для мышей 620 мг/кг.

Высокая дефолирующая активность хлората магния связана с его сильными окислительно-восстановительными свойствами. Под действием этого дефолианта в листьях резко нарушается водный режим, подавляется фотосинтез, разрушаются пластидные пигменты, нарушаются углеводный и белковый обмен. Гидролитические процессы в листьях начинают преобладать над синтетическими. Затем листья увядают, у основания их черешков образуется отделительный слой, и они опадают. Эти процессы происходят в листьях при воздействии на них хлората магния в сравнительно небольших дозах, порядка 10–15 кг/га. При повышении дозы препарата растения сильно обжигаются, клетки в зоне отделительного слоя погибают, не образуя отделительный слой, и листья не опадают.

Хлорат магния применяется в виде водных растворов. Дефолирующая активность этого препарата проявляется при сравнительно низких температурах порядка 9–10 °С. Большим преимуществом хлората магния перед цианамидом кальция является возможность эффективного применения его в качестве дефолианта при полном отсутствии росы и при низкой влажности воздуха. Хлорат магния не является системным дефолиантом и проникает только в те листья, на которые наносится. При этом полное проникновение препарата происходит в течение одного часа. Листья под действием хлората магния опадают значительно быстрее, чем под влиянием цианамид кальция.

Хлорат магния используется для дефолиации хлопчатника путем опрыскивания растений за 6–12 дней до уборки урожая при нормах расхода препарата 10–12 кг/га. Этот препарат, как дефолиант, хорошо зарекомендовал себя и на посевах клещевины (табл. 166). Лучшим сроком обработки клещевины хлоратом магния является период побурения коробочек на центральной кисти, когда процессы накопления сухих веществ и масла в семенах заканчиваются. Оптимальная норма препарата при дефолиации – 15 кг/га. К уборке дефолированной клещевины приступают через 10–15 дней после обработки. Дефолиация, проведенная в оптимальный срок, не снижает урожая семян, а их посевные и товарные качества не ухудшаются.

Таблица 166 – Эффективность дефолиации клещевины хлоратом магния (ХМ)

Вариант	Чистота семян, %	Влажность семян, %	Урожай семян, ц/га	Производительность комбайна, га/ч
Контроль	86,0	16,3	4,8	1,8
ХМ, 15кг/га	93,4	9,1	5,7	2,7

Хлоратхлорид кальция $[Ca(ClO_3)_2 + CaCl_2]$ – светло-серая жидкость с содержанием 30–32 % хлората кальция. Последний хорошо растворяется в воде, гигроскопичен, малотоксичен для человека и теплокровных животных: ЛД₅₀ для мышей 1112 мг/кг. ПДК в воздухе рабочей зоны 2,5 мг/м³. Данный препарат в качестве дефолианта рекомендуется на хлопчатнике. Его используют для опрыскивания посевов с нормой расхода препарата 20–30 кг/га в период раскрытия 1/4 коробочек на большинстве кустов. Дефолиацию этим препаратом рекомендуется заканчивать за 6 дней до сбора хлопка.

Хлоратхлорид кальция интенсивно поглощается листьями. Через 2–3 дня после обработки растений листья обезвоживаются и опадают. По своему действию препарат сходен с хлоратом магния, но оно проявляется более мягко.

Бутифос. Действующее вещество – S,S,S-трибутилтретиофосфат: $[(C_4H_9S)_3=O]$. Представляет собой жидкость светло-коричневого цвета с неприятным запахом, содержащую 70 % действующего вещества. Бутифос высокотоксичен для человека и теплокровных животных: ЛД₅₀ для крыс 177 мг/кг. ПДК в воздухе рабочей зоны 0,2 мг/м³. Как дефолиант, характеризуется высокой активностью, максимальная эффективность проявляется при температуре воздуха 18–20 °С. Препарат одинаково эффективен как во влажную, так и в сухую погоду. Бутифос – дефолиант контактного действия, т. е. проникает только в те листья, на которые наносится.

Бутифос показал хорошие результаты на хлопчатнике. Начинать обработку этим дефолиантом рекомендуется при раскрытии 1/4 коробочек на кусте хлопчатника. Оптимальная доза препарата 1,5–3,0 кг/га. Прекращать обработку бутифосом следует за 10 дней до уборки хлопчатника.

9.2.2. Десикация

Десикация – предуборочное подсушивание растений с целью ускорить их созревание и облегчить механизированную уборку урожая. Высыхание растений происходит под влиянием химических веществ-десикантов, которые необратимо повреждают коллоиды протоплазмы, что резко ослабляет водоудерживающую способность клеток, уменьшает количество связанной воды и усиливает испарение. Десиканты быстро высушивают листья и стебли, не повреждая созревающих семян, корнеплодов и клубней.

К. Овчаров, 1971

В настоящее время **десикация** получила всеобщее признание. В частности, данный агроприем стал неотъемлемой частью подготовки хлопчатника к машинной уборке. Сочетание десикации и дефолиации значительно ускоряет темпы созревания и раскрытия коробочек, что происходит не только за счет их

положительного влияния на растения, но и в результате изменения микроклимата куста, его осветления и уменьшения влажности воздуха и почвы, повышения температуры в приземном слое воздуха. Это позволяет более быстро и экономично убрать урожай, своевременно очистить поля от гуза-пай и провести зяблевую вспашку в оптимальные агротехнические сроки, что является залогом высокого урожая в следующем году. Кроме того, десиканты оказывают инсектицидное и акарицидное действие, в результате чего сокращается численность сосущих и грызущих вредителей к весне следующего года.

Десиканты могут быть использованы также в процессе возделывания других сельскохозяйственных культур. В частности, они широко используются для предуборочного удаления ботвы картофеля. Десиканты рекомендуют, кроме того, на семенных посевах многолетних трав, на высадках сахарной свеклы, на подсолнечнике, клещевине, конопле, люпине и рисе. В результате десикации ускоряется созревание семян и плодов, уменьшается их влажность, что позволяет механизировать уборку и переработку семян и исключает их порчу при хранении.

Десикация особенно необходима в условиях неблагоприятной осенней погоды, при затяжных дождях, а также на высоких фонах удобрений и при орошении, когда могут удлиняться сроки вегетации.

Десикацию, как прием высушивания растений на корню, рекомендуется осуществлять уже после формирования урожая, когда она не может оказать отрицательного влияния на его величину и качество.

Десикантами являются препараты контактного, т.е. местного, действия, обжигающие растения. Попадая на растения, они вызывают необратимые изменения коллоидов растительных клеток, приводящие к резкому ослаблению их водоудерживающей способности. Проникая в растительные ткани, десиканты, в первую очередь, повреждают клеточные мембраны, нарушая их структуру и функции. Далее под воздействием десикантов происходит денатурация белков из-за разрыва химических связей, усиления процессов гидролиза углеводов, ослабление устьичной транспирации и резкое снижение интенсивности дыхания. В результате этих изменений ткани растений усыхают, а содержащиеся в них пластические вещества оттекают в плоды и семена. Десиканты, повреждая листья и стебли, не оказывают отрицательного влияния на зародыши и семядоли семян, т.к. они защищены тканями семяместилиц и семенными оболочками. Ускоренное подсыхание семян, наблюдающееся под действием десикантов, является следствием быстрого обезвоживания материнского растения.

В качестве десикантов могут применяться различные вещества, но чаще всего рекомендуются хлорат магния, хлоратхлорид кальция, буфитокс и реглон.

Хлорат магния является наиболее универсальным и надежным десикантом. К тому же он относится к числу наименее токсичных препаратов. Его применяют в виде водного раствора, который готовится в день опрыскивания в железных или деревянных чанах. Хлорат магния не обладает системным действием, поэтому необходимо точно придерживаться рекомендуемых доз (табл. 167; Груздев Г.С., Зинченко В.А., Калинин В.А. и др., 1980).

При правильном применении хлорат магния проявляет свои десикационные свойства уже через несколько часов. В первые 6 ч растения интенсивно теряют воду и через 48 ч листья становятся почти сухими (табл. 168; Ракитин Ю.В., 1983).

Хлорат магния как эффективный десикант на посевах подсолнечника может быть использован только в тех районах, где в конце августа – первой половине сентября семена имеют влажность не более 35–40 %.

Таблица 167 – Применение хлората магния для десикации

Культура	Норма расхода, кг/га		Условия применения	Срок ожидания, дни
	препарата	действующего вещества		
Хлопчатник	25–35	15–21	Опрыскивание в период раскрытия не менее 50 % коробочек	6
Рис	25–50	15–30	Опрыскивание в период полной спелости 70–75 % зерновок в метелке	10
Пшеница	20–30	12–18	Опрыскивание в начале восковой спелости зерна	10
Подсолнечник	20–30	12–18	Опрыскивание в начале побурения корзинок	10
Картофель	25–30	15–18	Опрыскивание в период окончания формирования клубней и огрубления кожуры	10
Клещевина	15–20	9–12	Опрыскивание в период побурения коробочек на центральной кисти	10
Соя	20–30	12–18	Опрыскивание при побурении бобов на нижнем и среднем ярусах растений	10
Семенники сахарной свеклы	15–30	9–18	Опрыскивание в период побурения 30–40 % клубочков	10
Зеленцовая конопля	12–18	7,2–10,8	Опрыскивание в период окончания цветения мужских соцветий	10
Семенники редиса	25–33	15–20	Опрыскивание в период восковой спелости при влажности семян 50–55 %	10

Таблица 168 – Скорость высыхания листьев фасоли после обработки хлоратом магния

Время после обработки, ч	Содержание воды, %	
	контроль	хлорат магния
4	6	24
48	83,6	85,7
85,7	83,4	76,0
68,3	53,5	39,2

Десикация риса хлоратом магния позволяет вести уборку прямым комбайнированием и свести к минимуму потери зерна (табл. 169; Анненкова Г.Н., Смирнова Р.И., 1968).

Десикация семенников сахарной свеклы не только увеличивает урожай, но и способствует повышению сахаристости корнеплодов (табл. 170; Анненкова Г.Н., Смирнова Р.И., 1968).

Таблица 169 – Урожайность и потери зерна при десикации риса хлоратом магния

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Потери зерна при уборке, ц/га
Контроль	52,5	–	2,5
Хлорат магния, 20 кг/га	55,0	2,5	–

Таблица 170 – Урожайность и сахаристость сахарной свеклы при десикации хлоратом магния

Вариант	Урожайность, ц/га	Сахаристость, %
Контроль	275	16,8
Хлорат магния, 20 кг/га	287	17,0

Хлорат-хлорид кальция применяется для десикации хлопчатника за 6–12 дней до уборки при норме расхода препарата 45–50 кг/га.

Буфитокс. Используют для десикации хлопчатника за 10 дней перед уборкой. Норма расхода препарата – 3–6 кг/га.

Реглон. Действующее вещество дибромид – 1,1–этилен–2,2–дипиридил. Хорошо растворимое в воде белое кристаллическое вещество. Относится к среднетоксичным препаратам, ЛД₅₀ для крыс 400 мг/кг. Выпускается в форме 20 %-ного водного раствора.

Возможны два пути воздействия дипиридилов на обмен веществ растения. Первый – через ингибирование переноса электронов в процессе фотосинтеза. В растениях переносчиком электронов является железосодержащий белок ферредоксин, а дипиридилы способны заменять ферредоксин в реакциях фотосинтеза, что приводит к нарушению этого процесса и гибели растения из-за недостатка питания и потери энергии. Второй – в результате вторичного окисления дипиридилов молекулярным кислородом происходит накопление реакционно-способных гидроперекисных радикалов, которые и разрушают клетки растений.

Реглон является эффективным десикантом клещевины. Опрыскивание посевов этим препаратом из расчета 2 кг/га способствует повышению производительности комбайна, сокращению периода уборки, снижению потерь, а также затрат, связанных с сушкой семян.

Опрыскивание реглоном картофеля уменьшает распространение вирусных болезней и положительно влияет на процесс созревания клубней.

Десикация реглоном подсолнечника позволяет снизить влажность семян в 1,5–2 раза и начать уборку на 10–14 дней раньше по сравнению с необработанными посевами. Реглон вносится из расчета 3 кг/га по действующему веществу через 40–45 дней после массового цветения подсолнечника в начале побурения корзинок при влажности семян не более 40 %. Преждевременное опрыскивание ведет к снижению урожая семян и сбора масла.

Эффективна десикация реглоном семенников сахарной свеклы путем опрыскивания растений в период побурения 30–40 % клубочков с нормой расхода препарата 5–10 кг/га. Заканчивать обработку следует за 10 дней до уборки семян.

На семенниках люцерны опрыскивание реглоном допускается не позднее, чем за 7 дней до уборки в условиях орошаемого земледелия. Норма расхода препарата 2–4 кг/га.

9.2.3. Сеникация

Сеникация улучшает условия налива зерновок и, соответственно, посевные качества семян. Это влияние значительно на семена с низкими посевными качествами, т. е. сениканты способствуют сдвигу фенотипического проявления признака в благоприятную сторону в пределах нормы реакции генотипа.

Е.П. Алешин, 1981

В онтогенезе у растений последовательно сменяются конкурентные отношения между органами: побег–корень, лист–цветок, лист–плод, за обладание метаболитами. На каждом этапе развития у растения существует свой физиологически активный центр или свой "центр запасов", к которому направляется наибольшее количество ассимилятов. На последних стадиях развития растения конкурентные отношения в системе лист–плод складываются в пользу последнего и пластические вещества транспортируются именно к ним, как наиболее физиологически активному центру на данном этапе онтогенеза.

Перед формированием урожая в метаболизме листьев происходит резкий сдвиг в сторону усиления гидролитических процессов, приводящих к распаду белков и крахмала на более простые соединения: аминокислоты и сахара, которые и передвигаются в генеративные органы – плоды и семена.

Целенаправленное регулирование оттока пластических веществ из листьев и стеблей в генеративные органы является узловым звеном управления продуктивностью растения. Как известно, пластические вещества аттрагируются в созревающие плоды и семена далеко не полностью, поскольку их значительная часть остается в вегетативных органах до их отмирания. К тому же затяжная "молодость" вегетативных органов, зачастую имеющая место из-за неблагоприятных погодных условий, сопровождается непроизводительной тратой пластических веществ в ущерб урожаю. Поэтому и зародилась идея ускорения старения листьев с целью более интенсивного "выкачивания" из них пластических веществ. В результате научных поисков были разработаны способы дефолиации и десикации, оказавшиеся полезными в хлопководстве, а также для клешевины, подсолнечника, картофеля, сахарной свеклы и ряда других сельскохозяйственных культур. Для зерновых культур самой полезной оказалась **сеникация** – агроприем, обеспечивающий ускоренное завершение растениями своего жизненного цикла и увеличение их продуктивности.

Сеникация схожа с десикацией, но в отличие от последней, вызывающей гибель листьев и стеблей, обеспечивает лишь ускорение обмена веществ в растительном организме. В качестве сениканта используется физиологически-активная смесь, состоящая из микродозы аминной соли 2,4-Д и азотсодержащего удобрения, которая в высокой концентрации значительно усиливает гидролитические процессы в растениях и служит дополнительным источником азота. Сеникация является, по существу, поздней некорневой подкормкой растений макро- и микроэлементами с целью повышения скорости оттока пластических веществ из вегетативных органов в генеративные – плоды и семена. Она обеспечивает лучший налив и ускорение созревания зерновок. Причем, ускорение созревания является лишь сопутствующим и весьма полезным фактором. Сеникация как важнейший и обязательный агроприем вошла в технологию возделывания риса и пшеницы.

Сеникация риса способствует сокращению вегетационного периода растений на 4–6 дней, лучшему наливу зерновок – масса 1000 зерен возрастает на 3–7 %,

снижению влажности зерна на 1,5–3,0 % и повышению урожайности на 5–7 ц/га (табл. 171; Шеуджен А.Х., 2005). Этот агроприем проводят в фазу молочно-восковой спелости зерна. В качестве сениканта для риса используется водный раствор мочевины (35 кг/га) с добавлением аминной соли 2,4-Д (22 мл/га) и борной кислоты (0,4 кг/га по д. в.). Норма расхода рабочей жидкости – 150 л/га.

Таблица 171 – Эффективность сеникации риса

Показатели	Контроль	Обработка сеникантом
Вегетационный период, дни	116	110–112
Масса 1000 зерен, г	27,0	28,0–28,9
Влажность зерна, %	22,6	19,6–21,3
Урожайность зерна, ц/га	44,0	48,7–51,1

При сеникации пшеницы урожайность зерна возрастает на 3–5 ц/га и на 3–5 дней сокращается продолжительность вегетационного периода. Это происходит за счет ускорения естественного старения растений, выражающегося в усилении процессов гидролиза и ускорении оттока пластических веществ из листьев в зерновки. Наиболее эффективна сеникация пшеницы в начале восковой спелости зерна 5 % водным раствором аммиачной селитры с добавлением микродозы аминной соли 2,4-Д.

Сеникация может быть перспективной и при выращивании кукурузы на зерно. При ее проведении в фазу молочно-восковой спелости в листьях кукурузы усиливаются процессы гидролитического распада сложных соединений и их отток, характерные для естественного старения. В результате обработки листьев в зерне кукурузы усиливаются процессы синтеза углевода, белков, уменьшается содержание воды. Все это в конечном итоге приводит к увеличению урожая початков, ускорению созревания, повышению качества зерна. Лучшие результаты получаются при использовании в качестве сениканта смеси 0,1 % 2,4-Д и аммиачной селитры.

9.3. Ингибиторы нитрификации

Для снижения потерь азота и устранения опасности загрязнения нитратами растениеводческой продукции и окружающей среды разрабатываются новые формы азотных удобрений – медленнорастворимые, капсулированные с контролируемой скоростью высвобождения азота, модифицированные ингибиторами нитрификации. Последние препараты при внесении в почву вместе с аммонийными, аммиачными удобрениями и мочевиной тормозят нитрификацию в течение 1,5–2,0 месяцев и сохраняют минеральный азот почвы и удобрений в аммонийной форме.

П.М. Смирнов, Э.А. Муравин, 1991

В повышении продуктивности сельскохозяйственных культур ведущая роль принадлежит минеральным удобрениям, из которых первостепенное значение имеют азотные. На их долю приходится, как правило, более 80 % суммарной прибавки урожая, получаемой от применения промышленных туков. Тем не менее, возможности азотных удобрений реализуются культурными растениями еще далеко не полностью. Одной из причин недостаточной

эффективности азотных удобрений являются их высокие непроизводительные потери, достигающие 40-60 % от внесенной дозы. Это, прежде всего, нитрификация, денитрификация, иммобилизация и вымывание из корнеобитаемого слоя почвы. Учитывая столь большие потери азота, под сельскохозяйственные культуры вносят заведомо завышенные дозы удобрений, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на санитарном состоянии окружающей среды, загрязняя ее токсичными остатками. В связи с этим удовлетворение потребности сельскохозяйственных культур в азоте путем повышения эффективности вносимых удобрений, а не за счет увеличения их доз, является важнейшей задачей агрохимии, имеющей большое народнохозяйственное и природоохранное значение.

Одним из экологически безвредных путей повышения эффективности азотных удобрений и увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур является применение **ингибиторов нитрификации**. Это химические препараты, которые при внесении в количестве 0,5-2,0 % от азота удобрений на 1-2 месяца подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов, и тем самым способствуют сохранению азота в почве в аммонийной форме. Затормаживая процесс нитрификации, они снижают потери азота, как в газообразной форме, так и от вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя почвы, вследствие чего устраняют опасность загрязнения этими соединениями водных источников и уменьшают их содержание в растениеводческой продукции. *Ингибиторы нитрификации должны подавлять жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов, осуществляющих лишь первый этап нитрификации; не быть токсичными для растений, животных и человека; ингибировать нитрификацию в строго определенный период; обладать избирательностью действия на микрофлору почвы; легко передвигаться в почве с удобрениями, чтобы охватить зону действия внесенного азота и быть недорогим. Они должны обеспечивать уменьшение кратности дробного внесения азотных удобрений, снижение потерь азота, предотвращение накопления нитритов и нитратов в продуктах питания человека и животных.*

В настоящее время в мире известно около 300 химических соединений нитрифицидного действия. Наиболее широко распространены и изучены нитрапирин, дициандиамид, производные аминотилпиримидина, пиазолы, тиазолы и триазины. Нитрифицидным действием обладают также сероуглерод, тиосульфат аммония, азид калия, азид натрия, анилиды, производные мочевины и ацетилена, а также микроэлементы. Небольшие дозы этих соединений селективно подавляют нитрификацию, не угнетая другие микробиологические процессы в почве.

Нитрапирин. Активным ингредиентом этого ингибитора нитрификации является 2-хлор-6 (трихлорметил) пиридин. Эмпирическая формула $C_6H_3NCl_4$; молекулярная масса 230,9; температура плавления около 63 °С. Нитрапирин представляет собой белое кристаллическое вещество с резким запахом, обладающее высокой летучестью и коррозионной активностью. Этот препарат практически не растворим в воде, но хорошо растворяется в ацетоне, хлористом метиле, ксилоле, безводном аммиаке. Нитрапирин относится к числу малотоксичных соединений, кумулятивные свойства выражены слабо. Препарат обладает специфическим тератогенным гонадо- и эмбриотоксическим действием. ЛД₅₀ нитрапирина для крыс составляет 3500-3850 мг/кг. Препарат неустоек и быстро разлагается на воздухе, поэтому требует незамедлительной заделки.

ДЦДА – дициандиамид (циангуанидин). Эмпирическая формула $C_2H_4N_4$; молекулярная масса 84,1; температура плавления 210 °С. Это белый, негигроскопичный, нелетучий кристаллический порошок, имеющий неограниченное время хранения. Препарат хорошо растворим в воде и безводном аммиаке. ДЦДА в своем составе содержит 66,7 % азота, который после минерализации до аммония служит источником питания для растений.

АМ – 2-амино-4-хлор-6-метилпиримидин. Эмпирическая формула $C_5H_6N_3Cl$; молекулярная масса 143,6; температура плавления 182 °С. АМ представляет собой слабо растворимый в воде порошок желто-коричневого цвета. В рекомендуемых дозах нетоксичен для теплокровных.

ЦП – 2-циамино-4-гидрокси-6-метилпиримидин. Эмпирическая формула $C_6H_6N_4O$; молекулярная масса 150; температура плавления 196 °С. ЦП представляет собой слабо растворимый в воде белый кристаллический порошок, без запаха. В рекомендуемых дозах совершенно нетоксичен для теплокровных.

АТС. Химическое название активного ингредиента этого ингибитора нитрификации 4-амино-1,2,4-триазол. Эмпирическая формула $C_2H_4N_4$; молекулярная масса 84,1; температура плавления около 150 °С. Обладает избирательной способностью к торможению нитрификации на первой стадии процесса. Производится в виде водного раствора или вводится в виде кристаллического гидрохлорида в состав азотных и комплексных удобрений. Нелетуч, без запаха. Хорошо растворим в воде, слабо – в низкомолекулярных спиртах и ацетоне, нерастворим в бензоле, ксилоле и эфире. ЛД₅₀ для мышей составляет 6000 мг/кг.

АТГ – отечественный аналог японского ингибитора нитрификации АТС. В Дзержинском филиале ГИАП разработана новая технология производства 4-амино-1,2,4-триазола, которая, в отличие от известной технологии, позволяет получить продукт в кристаллическом виде. АТГ представляет собой белый кристаллический порошок с температурой плавления более 80 °С. Так как ингибитор этого типа не разлагается в расплаве карбамида, АТГ может быть введен в карбамид или его смеси с аммиачной селитрой на любой стадии их производства.

Эттриадиазол (терразол) – 5-этоксиг-3-трихлорметил-1,2,4-тиадиазол. Эмпирическая формула $C_5H_8ON_2$; молекулярная масса 106,2. Производится в виде смачивающегося порошка или жидкости с содержанием активного ингредиента соответственно 35 и 95 %. Терразол обладает высокой летучестью, поэтому требует немедленной заделки в почву после внесения. В рекомендуемых дозах нетоксичен для теплокровных.

КМП (ГММП – отечественный аналог) – 1-карбамоил-3(5)-метилпиразол. Эмпирическая формула $C_2H_7N_2O$; молекулярная масса 125,1; температура плавления около 130 °С. КМП представляет собой бесцветный или светло-серый мелкокристаллический порошок со слабым неспецифическим запахом. Хорошо растворим в ацетоне, этаноле, диэтиловом эфире, слабо – в воде и бензине. Этот препарат относится к группе умеренно опасных веществ. ЛД₅₀ КМП для крыс составляет 5000 мг/кг. Многочисленными исследованиями, проведенными в нашей стране и за рубежом, установлена высокая эффективность применения ингибиторов нитрификации с азотными удобрениями в рисоводстве.

Из большого числа ингибиторов наиболее полно изучен нитрапирин. Торможение с помощью этого препарата нитрификации азота аммиачных и амидных удобрений при возделывании риса и резкое снижение в связи с этим интенсивности денитрификации и вымывания нитратов подтверждено во многих странах. В нашей стране широкомасштабное изучение ингибиторов нитрификации, в том числе и нитрапирина как средства для снижения потерь азота удобрений и по-

вышения их эффективности были начаты в 1964 г. под руководством профессора ТСХА П.М. Смирнова. За это время им и его учениками и последователями испытано более 60 различных препаратов и установлена целесообразность их применения под картофель, рис, зерновые и овощные культуры.

Применение ингибиторов наиболее целесообразно в условиях орошаемого земледелия, в частности в рисоводстве. По нашим данным, при внесении ингибиторов нитрификации под рис происходила консервация азота удобрений в аммонийной форме в течение 6-8 недель, т.е. до создания постоянного слоя воды на рисовом поле, улучшалось азотное питание растений с самого начала вегетации. При этом под влиянием ингибиторов нитрификации коэффициент использования азота удобрений рисом повысился на 1,5-5,8 %, а урожайность зерна увеличилась на 2,1-3,3 ц/га по сравнению с производственным контролем (табл. 172; Шеуджен А.Х., 2005).

Таблица 172 – Эффективность применения ингибиторов нитрификации под рис

Удобрение	Коэффициент использования азота удобрений, %	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка, ц/га
P ₆₀ K ₃₀ – фон	—	29,6	—
Фон + N ₉₀	14,1	36,7	7,1
Фон + N ₆₀ + N ₃₀	17,6	44,4	14,8
Фон + N ₉₀ + АТГ	19,1	46,5	16,9
Фон + N ₉₀ + ДЦДА	20,2	47,2	17,6
Фон + N ₆₀ + АТГ	22,3	46,6	17,0
Фон + N ₆₀ + ДЦДА	23,4	47,7	18,1

Сравнительная эффективность внесенных под рис в качестве ингибиторов нитрификации дициандиамида (ДЦДА) и триазола (АТГ) свидетельствует, что предпочтительнее ДЦДА. Этот препарат обеспечивал наиболее полное использование азота удобрений и большую прибавку урожайности зерна риса. Судя по полученным нами данным, применение ингибиторов нитрификации позволяет не только сократить дозу азота, но и исключить азотные подкормки в период вегетации риса, т.е. дает возможность вносить азотные удобрения за один прием перед посевом риса, не опасаясь значительных потерь этого элемента питания.

Технология применения ингибиторов нитрификации на посевах сельскохозяйственных культур определяется их состоянием – включены они в состав азотного удобрения или находятся в препаративной форме. Если ингибитор введен в состав азотного удобрения, изготовленного на химическом комбинате, то технология его использования соответствует общепринятой для данной культуры технологии применения удобрений. Только азотные удобрения, модифицированные ингибитором нитрификации, вносятся в один прием перед или одновременно с севом разбросным или локальным способом. При внесении вразброс дозу азота уменьшают на 25-30 %. При локальном внесении таких удобрений усиливается ингибирующее действие на нитрификацию и в большей степени повышается их эффективность, что позволяет снизить дозу на 40-50 %.

При использовании препаративных форм ингибиторов нитрификации азотные удобрения вносят до посева разбросным способом дозой, уменьшенной на 25-30 %. Затем с помощью опрыскивателей на поверхность почвы

следом наносится водный раствор ингибитора нитрификации и заделывается на глубину 10-12 см тяжелыми дисковыми боронами в два следа. Концентрация препарата определяется видом опрыскивателя, т.е. дозу ингибитора растворяют в том количестве воды, которые обеспечит необходимый объем рабочей жидкости. Для поверхностного внесения рабочего раствора ингибитора нитрификации можно использовать опрыскиватели: ОВТ-1А, ОВТ-1В, ОП-450, ПОУ и другую имеющуюся в хозяйстве технику.

При использовании высоколетучих препаратов типа нитрапирина необходима немедленная заделка в почву. Нелетучие ингибиторы нитрификации, такие как АТГ и ДЦДА можно заделывать в почву в течение 1-2 сут. или наносить на гранулы удобрения в виде покрытия.

Дозы вносимых ингибиторов нитрификации определяются их ингибирующей способностью. Циангуанидин рекомендуется применять в количестве 10-15 %, нитрапирин и его аналоги – 2-3 % от дозы азота удобрения.

При использовании рекомендованных дозировок депрессия микробиологических процессов может быть лишь в отдельных зонах, куда попадают значительные количества препарата из-за их неравномерного распределения в почве. Продолжительность действия препаратов зависит от почвенно-климатических условий и влажности почвы. В большинстве случаев их ингибирующее действие продолжается 6-8 недель, а при осеннем внесении значительно дольше. Опытные данные показывают, что азотные удобрения можно вносить совместно с ингибиторами нитрификации осенью, не опасаясь значительных потерь азота.

Внесение ингибитора нитрификации с азотным удобрением в подкормку по вегетирующим растениям без заделки в почву совершенно недопустимо.

10. ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В УДОБРЕНИЯХ

*Рациональное использование удобрений
немыслимо без внедрения в производство
новых перспективных методов контроля
за питанием сельскохозяйственных культур
с целью формирования урожая запланированного
количества и качества.*

Ю.И. Ермохин, 1995

10.1. Понятие о потребности в удобрениях

Для получения прибавки урожая от удобрений, которая не только окупала бы затраты, но и давала прибыль, необходимо возможно точнее определить потребность растений в отдельных видах удобрений.

Под потребностью в удобрениях понимается разница между необходимым растению для формирования определенного уровня урожая количеством элементов питания и их наличием в почве:

$$У = Р - П,$$

где: У — потребность в удобрениях;
Р — количество элементов питания, необходимое растениям;
П — содержание элементов питания в почве.

Воспользовавшись этой формулой, можно представить два крайних случая: 1) если почва полностью обеспечивает потребность растений в питании, то есть $П=Р$, то удобрений не требуется ($У=0$); 2) если почва практически не содержит доступных растениям элементов питания ($П=0$), то потребность растений полно-

стью удовлетворяется за счет удобрений ($Y=P$). На практике мы сталкиваемся с самыми различными сочетаниями этих условий, которые и нужно учитывать.

Потребность растений в элементах питания характеризуется их выносом. **Вынос** – это содержание элементов питания в урожае с 1 га (в килограммах или граммах). Различают вынос биологический и хозяйственный.

Хозяйственный вынос – это содержание элементов питания в части урожая, отчуждаемой с поля. Эти данные используют для расчета баланса элементов питания в почве и норм удобрений.

Биологический вынос – суммарное содержание элементов питания в надземных и подземных органах растения. Сюда входят и питательные вещества, выделяемые в почву в результате оттока через корни или вымывания из листьев. Это максимальное содержание элементов питания в растении, приходящееся обычно на начало созревания. Данные биологического выноса используют для характеристики потребности растений в элементах питания.

Для определения потребности в удобрениях необходимо проводить ряд агрохимических обследований: наблюдения за ростом растений, потреблением элементов питания растениями, содержанием элементов питания в почве. Для этого разработаны методы растительной и почвенной диагностики и методы определения норм удобрений.

10.2. Растительная диагностика

Растительную диагностику можно разделить на визуальную и химическую. Данные растительной диагностики используются для контроля за действием удобрений и определения необходимости подкормки.

Визуальная диагностика заключается в наблюдениях за ростом растений. При глазомерной оценке уровня питания растений определяют высоту растений, степень кущения (или ветвления), размер и форму листьев в сравнении с растениями, растущими при нормальном питании. Особое внимание уделяется окраске листьев: общая окраска; различие в цвете нижних и верхних (взрослых) листьев; особенности окраски в пределах листовой пластинки – различие в центре и по краям, наличие пятен, цвет засохшей ткани. При этом нужно иметь в виду, что нижние листья могут приобретать нетипичный вид и по причинам, не связанным с обеспеченностью элементами питания (недостаток воды, затенение). При голодании растений пятна локализованы по краям листа или вдоль жилок, при заболеваниях они расположены хаотично. Заболевания могут проявляться на отдельных растениях, голодание – на определенной площади. Недостаток элементов питания по-разному отражается на внешнем виде растений и отдельных их органов.

Недостаток азота. Растения низкорослые, кущение (или ветвление) слабое, листья меньше по размеру, но их форма сохраняется. Общий цвет посева и отдельных листьев светло-зеленый, желтовато-зеленый, зеленовато-желтый, желтый. На нижних листьях пожелтение проявляется сильнее. Край листовой пластинки светлее основной части. Между жилками окраска светлее, чем вблизи от них. Край листовой пластинки приобретает бежевую окраску, засыхают, цвет высохшей ткани светло-коричневый. Признаки голодания постепенно усиливаются вверх по растению. У сои признаки сильнее проявляются на листьях, образовавшихся в период голодания. У растений с параллельным жилкованием (пшеница, кукуруза и др.) больше засыхает верхушка листа, при сетчатом жилковании (сахарная свекла, соя и др.) отмирание происходит сравнительно равномерно по всему краю листовой пластин-

ки. Признаки часто проявляются весной на посевах озимой пшеницы в фазе трубкования, на посевах кукурузы в фазе 6-7 листьев.

Недостаток фосфора. Растения также низкорослые. Кущение (или ветвление) слабое, листья уменьшаются в размерах, становятся узкими, приподнятыми. Общий цвет посева темно-зеленый, иногда с коричневатым оттенком. По краю темно-зеленых листьев, начиная с нижнего яруса, появляются бурые пятна, которые сливаются, вызывая засыхание края листьев, цвет засохшей ткани темно-коричневый (темно-бурый). Признаки голодания постепенно усиливаются вверх по растению. При параллельном жилковании листа больше засыхает его верхушка, при сетчатом – сравнительно равномерно по краю листовой пластинки. Фосфорное голодание часто проявляется на карбонатных почвах на посевах озимой пшеницы в фазе кущения.

Недостаток калия. Рост растений ослаблен, слабое кущение (ветвление). Общий цвет посева и отдельных листьев – зеленый. Верхушки (края) нижних листьев светлеют, затем засыхают, цвет засохшей ткани бурый. Признаки голодания распространяются снизу вверх. В полевых условиях встречается редко.

Недостаток кальция. Задерживается рост верхних листьев, на них появляются светло-желтые пятна (хлоротичность), затем листья отмирают, а ранее образовавшиеся листья остаются нормальными. Это связано с тем, что кальций слабо реутилизируется. При недостатке кальция корни растений слабо ветвятся, укорачиваются и ослизняются. Кальциевое голодание встречается на кислых дерново-подзолистых почвах.

Недостаток магния. Содержание хлорофилла в зеленых частях растений уменьшается. Магний в растениях реутилизируется. Листья, прежде всего нижние, становятся пятнистыми "мраморовидными", бледными между жилками, а вдоль жилок сохраняется зеленая окраска (частичный хлороз). Затем листья постепенно желтеют, скручиваются с краев и преждевременно опадают. Признаки магниевого голодания встречаются редко – главным образом на почвах с низким содержанием этого элемента.

Недостаток серы. Верхние выросшие листья у растений, в том числе и жилки, приобретают светло-зеленую или желтую окраску. Затем желтеют и старые листья. Признаки похожи на недостаток азота, но проявляются сильнее на верхних молодых листьях. Так как у сои признаки азотного голодания могут проявляться и на верхних листьях, то недостаток серы можно выявить у этой культуры только по химическому анализу листьев на содержание этих элементов.

Недостаток бора. Проявляется в посветлении верхушек и верхних молодых листьев, отмирании точек роста, снижении урожая семян. У свеклы отмирают зачатки молодых листьев и точка роста (гниль сердечка). У томата наблюдается почернение точек роста. Признаки проявляются чаще на карбонатных почвах, а на дерново-подзолистых – после известкования.

Недостаток молибдена. Молибденовое голодание вызывает ослабление зеленой окраски листьев вследствие нарушения азотного обмена. У бобовых меняется окраска всего листа, у других культур появляются светлые пятна. При сильном недостатке молибдена хлорозные ткани отмирают, листья искривляются.

Недостаток марганца. У растений возникает хлороз между жилками (желтоватая и палевая окраска). Жилки остаются зелеными, и лист приобретает узорчатый пестрый вид. Затем хлорозная ткань отмирает с появлением пятен. У листьев с сетчатым жилкованием они округлые, у листьев с параллельным жилкованием – удлинённые. Признаки недостатка марганца обнаруживаются чаще у свеклы, картофеля, капусты, плодовых культур на карбонатных и торфяных почвах.

Недостаток меди. Развивается хлороз листьев, побеление и засыхание их кончиков, увядание, задержка кущения у злаков и слабое образование семян. Признаки в большей степени выражены на молодых частях растений. Признаки недостатка меди наблюдаются на торфяных, кислых, песчаных почвах.

Недостаток цинка. Проявляется в виде хлороза верхних листьев, особенно часто у молодых растений кукурузы. Рост ослаблен, початки мелкие, искривленные. Проявляется на карбонатных и других почвах, при внесении фосфорных удобрений.

Недостаток железа. Происходит потеря зеленой окраски молодых листьев. Чаще всего недостаток железа растения испытывают на карбонатных почвах в засушливой зоне.

Хлороз листьев развивается при недостатке разных элементов и визуально установить, недостатком какого из них он вызван, бывает затруднительно. Необходимо учитывать также почвенные условия, проводить подкормку раствором удобрения, содержащим предполагаемый недостающий элемент. Обычно через несколько дней после подкормки признаки голодания исчезают.

Химическая диагностика. Между урожаем и химическим составом растений существует тесная связь. Различные условия питания, в том числе и обусловленные внесением удобрений, сказываются на их химическом составе. Эта связь используется для диагностики (определения) потребности в удобрениях.

Высокий урожай бывает при оптимальных условиях питания растений. Их химический состав можно принять за норму, то есть достаточный для формирования высоких урожаев. Низкий урожай и низкое содержание элементов питания указывают на недостаток их для растений. Если химических элементов в молодых растениях содержится много, а масса растений небольшая, то это свидетельствует о том, что не питание, а какой-то другой фактор задерживает рост растений.

С целью оценки условий питания проводят тканевую или листовую диагностику.

Тканевая диагностика предусматривает определение содержания неорганических форм соединений элементов питания в тканях или вытяжке из растений. Для ее проведения можно использовать полевую лабораторию К.П. Магницкого, которая позволяет очень быстро, в течение нескольких минут, в поле определить содержание азота, фосфора и калия в клеточном соке растений и сделать вывод об обеспеченности ими растений и потребности в удобрениях.

Для анализа отбирают: у картофеля черешки листьев среднего яруса, у кукурузы – центральную жилку у основания листа среднего яруса, у пшеницы – нижнюю часть растений, лишённую листовых пластинок. Ручным прессом выжимают сок и помещают его по одной капле в углубления специальной пластинки. Затем добавляют каплями соответствующие реактивы и сравнивают полученную окраску со шкалой эталонных растворов или с бумажной цветной шкалой. Такие анализы дают много информации. Например, в одном из опытов при анализе клеточного сока озимой пшеницы в фазе кущения были получены следующие результаты (табл. 173; Куркаев В.Т., 2000).

Таблица 173 – Содержание элементов питания в клеточном соке озимой пшеницы, мг/кг сока

Вариант	Азот	Фосфор	Калий
Без удобрений	100	80	3000
N ₉₀	750	40	3000
P ₆₀	0	160	3000
N ₉₀ P ₆₀	250	80	3000

Результаты показывают, что без удобрений на этом участке растения испытывали недостаток азота, и их следовало подкормить азотным удобрением. Внесение одного азота в высокой норме привело к фосфорному голоданию, а одного фосфора – к острому недостатку азота (в клеточном соке азота нет, а фосфор накапливается, так как не переходит в органические соединения). В последнем варианте состав клеточного сока показывает оптимальные условия питания.

Может использоваться также полевая лаборатория В.В. Церлинг. Она позволяет устанавливать содержание нитратов, фосфатов и калия в растениях. Анализ проводят на срезах частей растений, богатых сосудисто-проводящей системой. Для сравнения нужно брать образцы с одного яруса растений, лучше среднего. На срезы наносятся соответствующие реактивы. Оценка состояния питания растений проводится по окраске. Чем она темнее, тем выше содержание элементов питания и меньше потребность в удобрениях.

Используют также ряд других методов. Так как наиболее часто проявляется недостаток азота, то тканевую диагностику азотного питания в поле можно провести с использованием раствора дифениламина (по В.В. Церлинг). Хорошие результаты дает также анализ вытяжек из тканей растений (по К.П. Магницкому).

Листовая диагностика заключается в анализе листьев на валовое содержание элементов минерального питания, которое позволяет оценивать обеспеченность ими растений. Химический состав растений на обследуемом участке сравнивают с составом нормально обеспеченных растений.

Для анализа отбирают листья определенного яруса, чаще среднего, иногда – верхний взрослый лист (третий по счету сверху, начиная с разворачивающегося листа). Отобранные листья высушивают, измельчают и в них определяют содержание азота, фосфора и калия экспресс-методами валового анализа (одна из методик приводится в приложении). Например, применительно к условиям Краснодарского края разработана методика листовой диагностики для установления нормы азота поздней азотной подкормки озимой пшеницы с целью улучшения качества зерна. Анализ проводится в трех верхних листьях. Нормы удобрений устанавливают по содержанию азота.

10.3. Почвенная диагностика

Под **почвенной диагностикой** понимается определение содержания в почве доступных форм элементов питания – азота, фосфора, калия, микроэлементов. Результаты почвенной диагностики используются для установления норм основного удобрения и подкормок.

Для определения условий азотного питания растений в почве определяется содержание нитратного и аммонийного азота. Эти формы азота непосредственно усваиваются растениями. В сумме они составляют минеральный азот. При оценке результатов определения необходимо учитывать, что при анализе почв на посевах определяется остаток минерального азота от потребления растениями. Поэтому оценивать результаты можно только вместе с наблюдениями за ростом растений, так как образующийся минеральный азот быстро поглощается растениями. Если минерального азота в почве мало, а растения растут нормально, то применять удобрения в период вегетации не нужно.

Определение минерального азота в почве возможно и осенью, особенно в районах, где почва промерзает на длительный срок. Для оценки обеспеченности почв азотом определяют также содержание его легкогидролизуемых форм в кислотных или щелочных вытяжках.

Для оценки обеспеченности растений фосфором в почве определяют содержание этого элемента, переходящего в различные кислотные или солевые вытяжки (табл. 174).

Таблица 174 – Кислотные и солевые вытяжки, используемые для определения содержания подвижного фосфора

Почва	Метод	Растворитель
Дерново-подзолистая	Кирсанова	0,2н HCl
Чернозем выщелоченный	Чирикова	0,5н CH ₃ COOH
Чернозем обыкновенный	Мачигина	1 % (NH ₄) ₂ CO ₃
Краснозем и желтозем	Аррениуса	1 % лимонная кислота

Обеспеченность почв калием оценивается по результатам определения обменного калия, в одной вытяжке с фосфором.

Полученные результаты группируются и наносятся на агрохимические картограммы (табл. 175).

Таблица 175 – Группировка почв по содержанию подвижного фосфора и обменного калия, мг/кг почвы

Группа	Содержание	Подвижный фосфор		Обменный калий	
		по Мачигину	по Чирикову	по Мачигину	по Чирикову
1	Очень низкое	<10	<50	<100	0-30
2	Низкое	10-15	50-100	100-200	31-60
3	Среднее	15-30	100-150	200-300	61-90
4	Повышенное	30-45	150-200	300-400	91-120
5	Высокое	45-60	200-300	400-600	121-180
6	Очень высокое	>60	>300	>600	>180

Подвижные формы микроэлементов определяют в различных вытяжках и результаты также наносят на картограммы.

10.4. Определение норм удобрений

Определение норм минеральных удобрений является одной из важнейших и трудных задач при их использовании.

Многочисленными опытами установлено, что *наибольшая прибавка на единицу затраченного удобрения получается при внесении невысоких норм*. Однако при этом прибавка урожая с единицы площади получается меньше. При увеличении норм удобрений прибавка с единицы площади возрастает до какого-то предела, но снижается прирост продукции на единицу затраченного удобрения. При очень высоких нормах удобрений прибавки урожайности не окупают затраты на их применение.

Экономически выгоднее применять меньшие нормы удобрений на большей площади и получать больший валовой урожай, чем использовать высокие нормы удобрений на меньшей площади.

Для расчета норм удобрений используются различные методы.

10.4.1. Определение норм минеральных удобрений на основе прямого использования результатов полевых опытов и агрохимических картограмм

Метод полевого опыта. Величина урожая является интегральным показателем, обусловленным воздействием сложной совокупности факторов. Поэтому результаты полевых опытов с удобрениями являются наиболее надежным способом установления их норм. Нормы удобрений устанавливаются по результатам многолетних полевых опытов, которые проводятся с различными культурами на определенных типах и подтипах почв в сравнимых условиях (агротехника, погодные условия). Такие эксперименты проводятся в основном научными учреждениями и уточняются в производственных условиях. Метод довольно точен, но не дает возможности учитывать плодородие почв отдельных полей.

Метод полевого опыта и агрохимических картограмм. Наряду с данными полевых опытов, используются агрохимические анализы почв. Этот метод является основным. В хозяйствах периодически проводится агрохимическое обследование почв, по результатам которого составляются агрохимические картограммы содержания подвижного фосфора, обменного калия, кислотности и др. В зависимости от обеспеченности почв отдельных полей, к средним нормам, рекомендованным научно-исследовательскими учреждениями (принимается за единицу), делаются поправки. При низкой обеспеченности почвы нормы удобрений увеличивают, при высокой – уменьшают (табл. 176; Ачканов А.Я., Хомутов Ю.В., Эйсерт Э.К., 1987).

Таблица 176 – Поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений на обеспеченность почв Северного Кавказа подвижными формами элементов питания для полевых культур

Обеспеченность почв	Органические	Яровые зерновые, кукуруза, подсолнечник, люцерна			Озимая пшеница, сахарная свекла			Орошаемые и овощные культуры		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
Очень низкая	1,5	1,2	1,5	1,3	1,3	1,5	1,3	1,3	1,5	1,5
Низкая	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2	1,3
Средняя	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Повышенная	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7
Высокая	0	0,3	0,3	0	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5
Очень высокая	0	0	0,2	0	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3

Если потребность в удобрениях выражается небольшими нормами, то азотные удобрения вносят в подкормку, фосфорные – в рядки при посеве, калийные не применяют.

10.4.2. Расчетные методы определения норм минеральных удобрений

Несмотря на большие затраты средств и времени, методы установления норм удобрений по результатам полевых опытов являются неточными. Во-первых, при определении оптимальных норм закладываются опыты с большим количеством вариантов; при этом неизбежно сказывается пестрота плодородия почв. Во-вторых, используемые поправочные коэффициенты носят общий характер, поскольку экспериментально они обоснованы далеко не

полностью. В-третьих, в связи с постоянно идущей в земледелии сортосменной, внедрением новых технологий и форм удобрений, получение результатов полевого опыта с учетом изменившихся условий осуществляется более медленно, чем это требуется для производства, поэтому рекомендации научных учреждений устаревают и имеют лишь ориентировочный характер. Определенные недостатки возникают и при планировании результатов применения удобрений, так как метод полевого опыта не позволяет ориентироваться на получение конкретной величины прибавки урожая.

Все это вызывает необходимость искать более точные и оперативные методы установления норм удобрений, – так возникли расчетные методы. Из большого их разнообразия следует остановиться на нормативном, балансовом и математическом методах.

Нормативный метод. Его применение позволяет контролировать и регулировать плодородие почвы (при полной обеспеченности удобрениями). Но имеются и недостатки, связанные с тем, что данные о выносе питательных веществ с урожаем неточны (по справочнику), а поправочные коэффициенты, являясь производными от коэффициентов использования питательных веществ из удобрений, могут существенно изменяться.

Расчет норм удобрений по нормативам затрат на единицу урожая производится по формуле:

$$D = U_{\text{п}} \cdot H_1 \cdot K,$$

где: D – норма питательного элемента под планируемую урожайность, кг/га;
 $U_{\text{п}}$ – планируемая урожайность, т/га;
 H_1 – нормативы затрат питательного элемента на создание единицы урожая по оптимальной норме;
 K – поправка на агрохимические свойства почвы (табл. 175).

Для расчета норм удобрений по нормативам затрат на единицу прибавки урожайности пользуются формулой:

$$D = \Delta U_{\text{п}} \cdot H_2 \cdot K$$

где D – норма питательного элемента под планируемую урожайность, кг/га;
 $\Delta U_{\text{п}}$ – возможный прирост урожайности за счет удобрений, т/га;
 H_2 – нормативы затрат питательного элемента на единицу прибавки урожая по оптимальной норме;
 K – поправка на агрохимические свойства почвы (табл. 177).

Прибавка урожайности за счет удобрения определяется по формуле:

$$\Delta U = U_{\text{п}} - B \cdot C_6,$$

где B — балл пашни;
 C_6 – цена балла пашни, т/га.

Балл пашни определяется по данным бонитировки земель. Цена балла рассчитывается по формуле:

$$C_6 = \frac{U_{\text{к}}}{B} \cdot K,$$

где: $U_{\text{к}}$ – урожайность без внесения удобрения (т/га), по данным полевых опытов;
 B – балл пашни по данным оценки земель;
 K – поправочный коэффициент на производственные условия (табл. 175; Эйсерт Э.К., Ачканов А.Я., Дургарьян Н.Г. и др., 1987).

Таблица 177 – Поправочные коэффициенты к нормам удобрений для учета агрохимических свойств предкавказских черноземов

Уровень содержания в почве питательного вещества	Яровые колосовые, кукуруза, подсолнечник	Озимая пшеница, сахарная свекла	Овощные, плодовые, виноград
Фосфорные удобрения			
Очень низкое	1,2	1,4	1,5
Низкое	1,1	1,3	1,2
Среднее	1,0	1,0	1,0
Повышенное	0,5-0,7	0,7	0,7
Высокое	0,2-0,3	0,3	0,5
Очень высокое	0,2	0,2	0,3
Калийные удобрения			
Очень низкое	1,0	1,3	1,5
Низкое	1,0	1,1	1,3
Среднее	1,0	1,0	1,0
Повышенное	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7
Высокое	-	0,3	0,5
Очень высокое	-	0,2	0,3

Балансовый метод. Существует несколько модификаций балансовых методов. Из них наибольшее распространение и признание получили лишь две: а) расчет норм удобрений по запасу питательных веществ в почве; б) расчет норм удобрений на прибавку урожайности.

Расчет норм удобрений по запасу элементов питания в почве. Сущность данного метода заключается в том, что норму удобрений определяют по разнице между предполагаемым выносом элементов питания запланированной урожайностью и имеющимся их запасом в пахотном слое почвы. При этом учитывают коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений. Схематически данный расчет можно представить в следующем виде:

$$H = \frac{B - Z \cdot K_{\text{П}}}{K_{\text{У}}},$$

где: H – искомая норма удобрения, кг/га;
 B – предполагаемый вынос элемента питания запланированной урожайностью, кг/га;
 Z – запас элемента в пахотном слое почвы, кг/га;
 $K_{\text{П}}$ – коэффициент использования элемента растением из почвы;
 $K_{\text{У}}$ – коэффициент использования элемента растением из удобрений.

Метод очень простой, и если не углубляться в его сущность, то кажется, что он правильно отражает расчет нормы удобрения для покрытия потребностей выращиваемой культуры.

К недостаткам метода относится линейность уравнения элементарного баланса, следствием чего является его способность аппроксимировать сравнительно узкий участок "кривой Митчерлиха". Практически это означает, что уравнение элементарного баланса можно использовать при расчете питательного режима на урожай, не превышающий 35–40 % потенциально возможного.

Рассмотрим детальнее используемые в уравнении величины с точки зрения точности фактической информации. Вынос питательных веществ на единицу

продукции и коэффициенты их использования из удобрений и почвы сильно варьируют в зависимости от плодородия почвы, биологических особенностей растений и погодных условий. Значения этих коэффициентов не всегда можно установить с необходимой точностью, поэтому отклонения расчетных норм удобрений от фактической потребности растений в элементах питания на планируемую урожайность иногда превышают 50 %. Планируемый урожай является также весьма неточным показателем, так как эту величину определяет весь комплекс агротехнических и почвенно-климатических условий, а не только удобрение. Обычно, руководствуясь интересами хозяйства, планируют получить по возможности более высокий урожай культуры и в соответствии с этим вносят удобрения. Отметим еще, что применение максимальных норм удобрений при средней урожайности культур ведет не только к нерациональному использованию удобрений, но также и к избыточному накоплению элементов в почве, снижению урожая и усиливающему загрязнению окружающей среды.

Расчет норм удобрений на прибавку урожайности. Метод разработан с учетом того, что часть планируемого урожая создается за счет почвенного плодородия, а для повышения урожая до планируемого уровня необходимо вносить дополнительное количество питательных веществ с удобрениями. Норму минеральных удобрений устанавливают по тому количеству элементов питания, которое будет вынесено с планируемой прибавкой урожая. В связи с тем, что питательные вещества, содержащиеся в удобрениях, используются, как правило, не полностью, при расчете и уточнении их норм применяют коэффициенты использования питательных веществ из удобрений.

Рассматриваемый метод определения норм удобрений отличается от метода расчета на запланированную урожайность тем, что эффективное плодородие почвы выражают не запасом подвижных элементов питания, а готовой продукцией, в частности, фактической средней урожайностью данной культуры, полученной за последние 3-5 лет. При этом учитывается фактическое количество удобрений, используемое для получения средней урожайности:

$$N = N_c + \frac{(Y_n - Y_c) \cdot B}{K_y},$$

где: N и N_c – соответственно искомая и фактическая средняя норма удобрения под сельскохозяйственную культуру, кг/га;
 Y_n и Y_c – соответственно запланированная и средняя фактическая урожайность сельскохозяйственной культуры, ц/га;
 B – вынос питательного вещества 1 ц урожая данной культуры, кг;
 K_y – коэффициент использования сельскохозяйственной культурой питательного вещества из удобрений.

К достоинствам данного метода относятся его исключительная простота и то обстоятельство, что о количестве доступных растениям элементов питания в почве судят по урожаям при соответствующей агротехнике в хозяйстве.

Недостаток метода: одинаковый подход к расчету норм всех видов удобрений без учета естественных источников поступления азота, фосфора, калия в почву и необходимости поддержания баланса питательных веществ, в частности фосфора и калия в почве; применение неустойчивых коэффициентов использования элементов питания из удобрений. Последние, как правило, зависят от плодородия почвы, ее поглотительной способности, влажности и других физико-химических свойств; потребности отдельных культур в пита-

тельных веществах и их биологических особенностей; свойств самих минеральных удобрений и их взаимодействия с почвой; чередования культур в севообороте и удобренности предшественников; норм, сочетаний, сроков и способов внесения удобрений. Поскольку сами эти условия непостоянны как в пространстве, так и во времени, то каждая конкретная ситуация характеризуется индивидуальным коэффициентом использования питательных веществ из удобрений. Определить их все невозможно. Примеры установления норм удобрений балансово-расчетными методами приведены в таблицах 178 и 179 (Лисовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.Н., 1989).

Таблица 178 – Расчет норм удобрений на запланированную урожайность по запасу питательных веществ в почве (культура – сахарная свекла; урожайность – 40 т/га)

Показатель		Питательные вещества		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ	одной тонной, кг	5,0	1,3	5,0
	с урожаем, кг/га	200	52	200
Содержание подвижных питательных веществ в пахотном слое почвы	мг/кг	100	80	80
	кг/га	300	240	240
Использование питательных веществ почвы культурой	коэффициент, %	30	8	30
	кг/га	90	19	72
Внесено питательных веществ с 30 т навоза, кг/га		150	75	180
Использование питательных веществ навоза культурой	коэффициент, %	30	40	60
	кг/га	45	30	108
Необходимо внести питательных веществ с минеральными удобрениями, кг/га		50	3	20
Использование сельскохозяйственной культурой питательных веществ из минеральных удобрений, коэффициент, %		60	10	40
Необходимо внести питательных веществ с учетом коэффициента использования из минеральных удобрений, кг/га		84	30	50
Массовая доля питательных веществ в минеральных удобрениях, %		34	18	40
Количество аммиачной селитры, суперфосфата и калийной соли, которые следует внести на 1 га, ц		2,5	1,7	1,3

Математические методы. Потребность растений в удобрениях можно определить с помощью специальных математических моделей или производственных функций, которые описывают количественную зависимость между урожаем и нормами удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях. Эти уравнения позволяют установить оптимальную норму при любом сочетании удобрений. Количественная зависимость урожайности от норм удобрений наиболее точно аппроксимируется уравнением регрессии со степенями 0,5 и 1 для факторов и 0,5 – для парных взаимодействий. При внесении полного минерального удобрения его общий вид выражается следующим полиномом:

$$Y = a_0 + a_1 N^{0,5} + a_2 N + a_3 P^{0,5} + a_4 P + a_5 K^{0,5} + a_6 K + a_7 (NP)^{0,5} + a_8 (NK)^{0,5} + a_9 (PK)^{0,5},$$

где: Y – урожайность, ц/га;

a_0 – свободный член, характеризующий урожайность без удобрений;

a_1, a_2, \dots, a_9 – коэффициенты регрессии, устанавливающие количественную связь между урожайностью и нормами удобрений.

Таблица 179 – Расчет норм удобрений на прибавку урожайности (культура – картофель, средняя урожайность за 5 лет – 15 т/га, планируемая прибавка – 5 т/га)

Показатель	Органические удобрения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Внесено органических (т/га) и минеральных (кг/га) удобрений под культуру в среднем за 5 лет	40	60	60	60
Вынос питательных веществ	одной тонной, кг прибавкой урожая, кг/га	5,0	2,2	8,0
Будет внесено навоза для получения прибавки урожайности, т/га	10	25	11	40
Поступит с навозом питательных веществ, кг/га		50	25	60
Коэффициент использования питательных веществ из навоза, %		30	40	60
Будет использовано питательных веществ из навоза с учетом коэффициента использования, кг/га		15	10	36
Необходимо внести питательных веществ с минеральными удобрениями, кг/га		10	1	4
Коэффициент использования питательных веществ из минеральных удобрений (КИУ), %		50	20	70
Необходимо внести минеральных удобрений с учетом КИУ, кг/га		20	5	6
Уровень обеспеченности культуры питательными веществами почвы		Низкий	Средний	Средний
Поправочные коэффициенты на обеспеченность		1,2	1,0	1,2
Будет внесено минеральных удобрений для получения прибавки урожайности с учетом обеспеченности, кг/га		24	5	7
Следует внести удобрений для получения запланированной урожайности: органических, т/га	50			
минеральных, кг/га		84	65	67
аммиачной селитры, суперфосфата и калийной соли, ц/га		2,5	3,6	1,7

Преимуществом производственной функции является возможность аппроксимации вследствие ее нелинейности, более широкого участка "кривой Митчерлиха" и, как следствие, расширяется диапазон применяемости метода. К недостаткам метода относится жесткая привязанность производственной функции к почвенно-мелиоративным и агрометеорологическим условиям

проведения опыта, на основании которого она составлена, необходимость набора ряда функций для программирования урожая даже для условий одного севооборота. Принципиальным недостатком метода является неоднозначность производственной функции, отражающая тот факт, что одинаковая урожайность может быть получена при различном сочетании норм азотно-фосфорно-калийных удобрений, а это нарушает принцип незаменимости основных жизнеобеспечивающих факторов.

Расчетные методы определения норм удобрений получили в последние годы широкое распространение. Практиков привлекает их сравнительная простота. Учет баланса питательных веществ в земледелии лежащий в основе расчетных методов, является положительной их стороной. Вместе с тем, следует отметить и большие трудности в правильном установлении баланса. Дело в том, что в расчетах норм удобрений по балансу используют примерные средние данные размеров выноса и средние же величины коэффициентов использования питательных веществ из почвенных запасов и удобрений, определенные научными учреждениями в целом для страны или отдельных крупных почвенно-климатических зон, которые в конкретных условиях отдельных хозяйств не всегда обеспечивают получение ожидаемых результатов. Существенным недостатком расчетных методов является также и то, что не всегда учитываются реальные возможности получения планируемых урожаев, хотя хорошо известно, что для повышения урожаев недостаточно лишь внести в почву необходимое количество питательных веществ.

С учетом изложенных замечаний, расчет норм удобрений по любому из описанных в настоящей главе методов можно применять в практических целях лишь для ориентировочного определения потребности в удобрениях отдельных севооборотов, полей хозяйства с обязательной ежегодной проверкой этих расчетов по полученным в хозяйстве результатам и по данным производственных опытов с экономико-энергетической оценкой эффективности использования удобрений.

11. СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ

Рационально построенная система удобрения основывается на учете: 1) почв хозяйства; 2) агробиологических особенностей удобряемых культур; 3) свойств удобрений; 4) ресурсов удобрений в хозяйстве и 5) способов внесения удобрений.

А.В. Петербургский, 1967

Система удобрения культур в севообороте – это план размещения удобрений между культурами севооборота с установлением их видов, форм и наиболее эффективных доз под каждую культуру, составленный на одну ротацию севооборота.

Н.Х. Дунина, 1985

Удобрения являются мощным средством повышения производительности сельского хозяйства, но лишь при условии правильного их применения в определенной системе под отдельные культуры и при их чередовании в севообороте.

Система удобрения – это комплекс приемов использования удобрений на сельскохозяйственных угодьях, направленных на повышение урожайности, плодородия почв и охрану окружающей среды.

В этом определении слово "**удобрение**" используется в значении "процесс". В других определениях под системой удобрения понимается план размещения минеральных и органических удобрений, что также верно, но менее точно. Именно понимание системы удобрения как сочетания приемов, направленных на повышение урожая и плодородия почв, указывает путь разработки эффективных приемов внесения отдельных удобрений (нормы, сроки), то есть в первом случае определение раскрывает цель.

Система удобрения – один из главных компонентов (звеньев) системы земледелия, наряду с системой обработки почвы, введением севооборотов и другими. Как компонент системы земледелия, она складывается из системы удобрения в севооборотах, системы удобрения многолетних насаждений, а также лугов, и является, таким образом, системой удобрения в хозяйстве.

Система удобрения должна решать задачи увеличения урожая и улучшения его качества, повышения производительности труда и плодородия почв. Она используется в технологиях производства сельскохозяйственной продукции различного типа интенсивности (экстенсивных, нормальных, интенсивных и высокоинтенсивных). Особенно значительна роль системы удобрения в интенсивных технологиях.

При разработке системы удобрения должны учитываться все знания по ранее изложенным разделам – питанию растений, свойствам почв и удобрений.

11.1. Агрохимические и физиолого-экологические основы системы удобрения

Система удобрения разрабатывается с учетом целого ряда условий, влияющих на эффективность удобрений: биологических особенностей питания растений, почвенно-климатических ресурсов, агрохимических свойств удобрений, совместного внесения органических и минеральных удобрений, агротехнологических условий, влияния севооборота на эффективность удобрений, материально-технических и экономических условий.

Биологические особенности питания растений. В конечном итоге система удобрения в севообороте является планом удобрения отдельных культур, составляющих севооборот. Поэтому при разработке системы удобрения должны быть учтены, прежде всего, биологические особенности питания этих культур. При этом учитываются потребности возделываемых культур в элементах питания. Например, подсолнечник и сахарная свекла поглощают калия больше, чем зерновые культуры. Бобовые культуры потребляют больше молибдена, чем другие.

Далее нужно учесть периодичность потребления элементов питания. Например, зерновые культуры больше потребляют элементов питания в первой половине вегетации – от кущения до колошения. Зернобобовые культуры потребляют элементы питания более равномерно.

В начале вегетации растения потребляют элементов питания немного, но недостаток их отрицательно сказывается на всем остальном периоде вегетации и не может быть восполнен усилением питания в более поздний период. В дальнейшем потребление возрастает и достигает максимума, который у разных растений приходится на разное время роста.

При разработке системы удобрения под отдельные культуры, в соответствии с их потребностью в питательных веществах в разные периоды роста, устанавливают дозы, сроки и способы внесения удобрений, учитывают отношение к реакции среды. Затем необходимо учитывать усваивающую способ-

ность корневой системы растений в отношении питательных веществ, чтобы подбором соответствующих форм удобрений создать наиболее благоприятные условия для роста растений и формирования урожая.

Устанавливая сроки внесения удобрений, глубину их заделки, необходимо учитывать характер развития корневой системы растений, глубину ее проникновения в почву и способность образовывать дополнительные корни. У зерновых культур корневая система распространяется неглубоко, у зернобобовых и других, имеющих стержневую корневую систему, проникает значительно глубже.

Почвенно–климатические ресурсы. При разработке системы удобрения необходимо учитывать уровень естественного плодородия почв. Выбор форм удобрений должен проводиться с учетом свойств почв: химического и гранулометрического состава, степени окультуренности, реакции, содержания усвояемых форм элементов питания.

На разных типах почв, в зависимости от содержания доступных форм элементов питания, отдельные виды минеральных удобрений имеют различное значение.

Гранулометрический состав почвы оказывает существенное влияние на передвижение элементов питания удобрений, поглощение и закрепление их. Поэтому гранулометрический состав учитывается при определении норм и доз удобрений, сроков внесения и глубины заделки. На почвах тяжелого гранулометрического состава (глинистых) удобрения поглощаются и закрепляются сильнее, а, следовательно, и передвигаются с водой меньше и медленнее, чем на почвах легкого гранулометрического состава (песчаных).

Учитывается также уровень потенциального плодородия почв – содержание гумуса, общее содержание азота, фосфора, калия и других элементов. Устанавливается необходимость химической мелиорации почв – известкования (реакция, гидролитическая кислотность, сумма обменных оснований, степень насыщенности основаниями) или гипсования (щелочность, емкость катионного обмена, содержание обменного натрия). Для оценки питательного режима почвы необходимо учесть содержание подвижного азота, фосфора и обменного калия.

Для учета свойств почв используют почвенные карты и агрохимические картограммы, в которых указано содержание подвижных форм питательных веществ в почве и кислотность.

Климатические условия также оказывают большое влияние на эффективность удобрений. Водный режим зависит от количества осадков, их распределения в течение года, физических свойств почвы и является одним из важнейших факторов урожайности.

При резком недостатке воды в почве удобрения не дают положительного эффекта и даже могут оказать отрицательное действие на рост растений. При умеренном недостатке воды в почве удобрения способствуют более продуктивному ее использованию растениями.

При построении системы удобрения необходимо учитывать особенности климата и предусматривать соответствующие сроки внесения удобрений и глубину их заделки под отдельные культуры. Так, в районах с недостаточным или неустойчивым увлажнением особенно важна глубокая заделка удобрений, при которой они размещаются в слоях с более устойчивой влажностью, чем в поверхностном слое, который быстро пересыхает. В засушливый период применение удобрений в виде подкормок при поверхностном внесении может быть малоэффективным.

Необходимо учитывать также температурный режим. Это связано не только с продолжительностью вегетационного периода, набором культур и выносом элементов питания, но и со сроками обработки почвы и накоплением подвижных форм элементов питания, особенно азота.

Агрохимические свойства удобрений. При разработке системы удобрения в севообороте необходимо учитывать форму действующего вещества, растворимость удобрения и доступность элементов питания, особенно взаимодействие удобрения с почвой, а также и влияние удобрения на агрохимические свойства почвы.

Важным условием является последствие удобрений, от которого зависят нормы внесения удобрений под последующие в севообороте культуры. Особенно длительное последствие оказывают органические и фосфорные удобрения.

Совместное применение органических и минеральных удобрений является одним из основных положений системы удобрения. Д.Н. Прянишников по этому поводу писал: "Максимальные же урожаи достигаются комбинацией навоза и минеральных удобрений, которая позволяет обильно снабдить растения усваиваемой пищей на первых стадиях развития и дать в то же время в виде навоза резерв постепенно приходящих в действие питательных веществ" (Избр. соч., т. 1, 1952, с. 563).

Сочетание навоза с минеральными удобрениями в большинстве случаев превосходит по своей эффективности действие этих удобрений при раздельном внесении в эквивалентных количествах питательных веществ, что связано с усилением микробиологической деятельности в почве. Также уменьшается закрепление в почве фосфора минеральных удобрений.

Совместное применение навоза и минеральных удобрений наиболее желательно при возделывании культур, чувствительных к повышенной концентрации почвенного раствора (огурец, лук, чеснок и другие).

Агротехнологические условия. Соблюдение агротехники существенно повышает эффективность удобрений. Сроки и глубина обработки почвы влияют на накопление питательных веществ в доступной для растений форме. При ранней обработке накапливается значительно больше минерального азота. Следовательно, потребность в азотных удобрениях уменьшается.

Особое внимание при внесении удобрений следует уделить засоренности посевов и борьбе с сорной растительностью в агрофитоценозе. Если не принять должных мер, то при внесении удобрений можно увеличить засоренность и не только снизить прибавку урожая от внесения удобрений, но и вообще снизить урожайность. Как правило, засоренность возрастает при мелкой заделке удобрений, изреженности посевов. В ряде случаев на сильно засоренных полях следует временно отказаться от внесения удобрений, особенно азотных.

Эффективность удобрений изменяется в зависимости от сорта возделываемой культуры. Наиболее отзывчивые сорта более продуктивно используют как элементы питания почвы, так и вносимых удобрений. У таких сортов больше доля продуктивной части урожая и под них выгоднее вносить удобрения.

Несоблюдение оптимальных сроков сева, несоответствующая густота посевов приводят к снижению эффективности применения удобрений. Обычно при внесении удобрений, особенно в повышенных нормах, густота стояния растений должна быть меньше. На удобренных посевах растения сильнее кустятся (или ветвятся), листья получают крупнее, возрастает их площадь, что может приводить к их затенению в нижнем ярусе. Оптимальная площадь листьев – 40–60 тыс. м²/га.

Значение севооборота для системы удобрения. Разные сельскохозяйственные растения имеют существенные различия в потреблении питательных веществ. При чередовании культур в севообороте питательные вещества почвы и удобрений используются более продуктивно. При посеве, например, озимой пшеницы по разным предшественникам потребность в удобрениях будет разной.

После уборки зернобобовых культур (например, гороха) почва легко обрабатывается, становится рыхлой. До посева озимых культур проходит много времени, потребность в удобрении азотом будет меньше. После поздно убираемой кукурузы на зерно в почве накапливается мало минерального азота и потребность в азотном удобрении резко возрастает.

Бобовые культуры требуют меньше азотных удобрений, а многолетние бобовые травы обогащают почву азотом. Поэтому под культуры, идущие после бобовых, азотных удобрений вносят меньше. Нельзя вносить много азота под покровную культуру (под которую подсевают многолетние травы).

При чередовании культур и меньших нормах внесения удобрений получают более высокие урожаи по сравнению с монокультурой, без чередования.

При длительном применении удобрений в севообороте потребность в азотных удобрениях увеличивается, а в фосфорных и калийных – уменьшается.

Материально-технические и экономические условия. При составлении системы удобрения необходимо рассчитать потребность в складах для хранения удобрений, наличие машин для внесения основного удобрения, припосевного и подкормок. Для применения органических удобрений необходимы соответствующие машины для подготовки, транспортировки и внесения.

Исходя из экономических условий, определяют планируемые прибавки урожая за счет удобрений, подбирают наиболее окупаемые нормы удобрений и приемы их использования. Например, локальное внесение удобрений в 2–3 раза эффективнее разбросного. Точное определение потребности в удобрениях также дает возможность экономить средства. Рассчитывается экономическая эффективность разработанной системы удобрения.

11.2. Составные части системы удобрения

Система удобрения, как комплекс приемов, строится с учетом многих факторов. Она включает следующие составные части.

1. Система удобрения в севообороте, многолетних насаждениях и на других сельскохозяйственных угодьях.
2. Система накопления, подготовки и внесения удобрений.
3. Система мер по охране окружающей среды.
4. Годовой и календарный план применения удобрений.

Система удобрения, в зависимости от размеров и специализации хозяйства, может включать эти части в разном объеме.

Система удобрения в севообороте, многолетних насаждениях и на других сельскохозяйственных угодьях. Система удобрения разрабатывается для различных сельскохозяйственных угодий: пашни (севооборотов), многолетних насаждений, лугов и других.

Система удобрения в севообороте – это многолетний план применения удобрений в севообороте с учетом плодородия почвы, биологических особенностей растений, состава и свойств удобрений.

Система удобрения в севообороте включает систему удобрения отдельных культур – как сочетание основного удобрения, припосевного и подкормок. Она предусматривает виды, нормы и дозы удобрений, сроки и способы их

внесения в зависимости от планируемого урожая, биологических особенностей растений и от чередования культур в севообороте с учетом свойств удобрений, почвенно-климатических и других условий.

Для многолетних насаждений составляется план на несколько лет на каждый участок в зависимости от возраста, пород и сортов. Разрабатывается план внесения удобрений до закладки, при посадке, на молодых и на плодоносящих насаждениях. В плане предусматриваются виды удобрений, дозы основного удобрения, подкормок, сроки и способы внесения, периодичность внесения по годам.

Для лугов, в зависимости от их использования (сенокосы или пастбища) разрабатывают систему удобрения, направленную на получение высокого урожая кормовых трав необходимого качества.

В зависимости от специализации хозяйства и удаленности полей от животноводческих ферм или комплексов, различают следующие системы удобрения: навозно-минеральную, органико-минеральную или комбинированную, минеральную, органическую или навозную.

Количественно система удобрения характеризуется средней насыщенностью одного гектара площади органическими и минеральными удобрениями, качественно – окупаемостью удобрений урожаем.

Наиболее важным в системе удобрения является установление норм удобрений под отдельные культуры. При установлении норм необходимо стремиться к тому, чтобы применяемые удобрения были использованы возможно эффективнее. Нормы удобрений устанавливаются по методам, изложенным в разделе 4.4.

Чем выше планируется получить урожай, тем больше должно вноситься элементов питания в виде удобрений. При этом нужно учитывать, что нет прямой пропорциональности между степенью повышения урожайности и выносом питательных веществ растениями. На фоне высокой агротехники эффективность удобрений выше.

Действие той или иной дозы удобрений в значительной мере зависит от срока внесения и способа заделки, которые определяются особенностями растений и климата (и погоды), свойств почвы и удобрения, а также сорта и других условий агротехники.

При определении норм внесения удобрения необходимо учитывать последнее действие удобрений, внесенных под предшествующие культуры. Например, последствие навоза и фосфорных удобрений бывает не менее, чем прямое действие (в первый год действия). В год внесения растения используют из минеральных удобрений азота 50–60 %, фосфора – 20–25, калия 50–60 %; из навоза азота 20–30 %, фосфора – 30–40, калия 60–75 %.

Применение удобрения тесно связано с агротехнологией, поэтому система удобрения разрабатывается и осуществляется в тесной связи со всем комплексом агротехнических приемов возделывания отдельных культур, входящих в севооборот. Удобрения в соответствующих дозах, время и способы их заделки в сочетании с другими агротехническими приемами должны удовлетворять потребность растений в элементах питания в различные периоды их роста и развития в соответствии с биологическими потребностями растений и конкретными почвенно-климатическими условиями.

При разработке системы удобрения для конкретного хозяйства весьма существенным является также установление правильных сроков и способов внесения органических и минеральных удобрений под отдельные культуры в севообороте. Способы внесения и заделки удобрений определяются биологиче-

ческими особенностями культуры, ее агротехники, а также климатическими, почвенными условиями и свойствами удобрений.

Общее количество удобрений, предусмотренных под отдельные культуры, вносят в один или несколько сроков с применением различных способов внесения и заделки.

Основное удобрение предназначено для улучшения питания растений в течение всего периода вегетации, особенно в период интенсивного роста растений и максимального потребления элементов питания. Поэтому используется большая часть нормы, вносимая, как правило, под вспашку. В этом случае удобрения размещаются в глубокий, более влажный слой почвы и поэтому эффективно используются в течение всего или большей части вегетационного периода. В районах достаточного увлажнения глубокая заделка имеет меньшее значение. Азотные удобрения в этих условиях часто вносят весной. Учитывается также влияние орошения.

Припосевное удобрение предназначено для улучшения питания растений в начальный период роста. Поэтому дозы его невелики, размещаются удобрения вблизи от семян, то есть локально. Следует учитывать, что эффективность удобрений при локальном его внесении в 2–3 раза выше, чем при разбросном.

Подкормки проводятся, как правило, для устранения недостатка какого-либо элемента в период роста и развития растений (по диагностике питания). В подкормку целесообразно выделять часть удобрений при высоких нормах. Подкормку также следует провести, если по каким-либо причинам удобрения не были внесены до посева. Перенос части удобрений в подкормку целесообразен на легких почвах в районах достаточного увлажнения, на почвах с высоким уровнем грунтовых вод.

Система удобрения в севообороте строится на сочетании основного, припосевого удобрения и подкормки отдельных культур. В многолетних насаждениях система включает применение удобрений до закладки, при посадке, основное удобрение и подкормки. На лугах удобрения вносят в несколько сроков.

При проектировании системы удобрения используются следующие материалы: организационно-хозяйственный план, почвенная карта, агрохимические картограммы, фактическая урожайность за последние 5 лет и нормы применяемых удобрений, книга истории полей, организационно-технические возможности хозяйства. Уточняются севообороты, устанавливается потребность в химической мелиорации, количество производимых органических удобрений. На основании всех данных проводится распределение минеральных и органических удобрений под отдельные культуры.

К системе удобрения составляется агрохимическое обоснование, рассчитывается баланс гумуса и элементов питания в почве, экономическая и энергетическая эффективность применения удобрений.

Система накопления, подготовки и внесения удобрений. В этой части системы удобрения разрабатываются конкретные технологии накопления, подготовки и внесения минеральных удобрений и средств химической мелиорации почв. Рассчитывается потребность в складах, машинах для выполнения работ по внесению удобрений.

В зависимости от развития животноводческой отрасли разрабатываются технологии подготовки и внесения органических удобрений. Намечается применение сидеральных удобрений.

Система мер по охране окружающей среды при использовании удобрений. Чтобы получить от удобрений необходимую эффективность и не допу-

стить загрязнения окружающей среды, необходимо разработать ряд мер. Прежде всего нужно не допустить потерь минеральных удобрений на пути от завода до поля, вносить их так, чтобы они не попадали в грунтовые воды, водоемы, не накапливались в избыточном количестве в продукции. Опасность существует при использовании органических удобрений, особенно жидких.

При разработке мер определяются пути возможного загрязнения окружающей среды при осуществлении разработанных технологий и намечаются способы недопущения такого загрязнения. Эти меры корректируются в годовых и календарных планах применения удобрений.

Годовой и календарный планы применения удобрений. Система удобрения в севообороте и многолетнем насаждении, как многолетний план применения удобрений, корректируется в годовых и календарных планах. Это обусловлено различием в плодородии отдельных полей и участков агроценоза, погодными и агротехническими условиями, изменением планов производства, экономическими условиями.

При составлении годового плана (проекта) устанавливается необходимое количество минеральных и наличие органических удобрений, учитываются имеющиеся в хозяйстве технические средства, результаты агрохимического обследования полей.

Определяется возможное производство органических удобрений, количество которых должно быть доведено до необходимого уровня для поддержания почвенного плодородия, прежде всего, сохранения запасов гумуса.

Устанавливается планируемая прибавка урожайности от применения удобрений. На основе результатов агрохимического обследования полей и результатов полевых опытов, проведенных в данной зоне, устанавливаются нормы минеральных и органических удобрений. Определяются формы минеральных удобрений и, с учетом содержания действующего вещества в них, рассчитываются нормы в физической массе. Рассчитывается общая потребность в отдельных видах и формах удобрений по срокам внесения.

На основе потребности в удобрениях уточняется потребность в складах для хранения удобрений, составляется план хранения органических удобрений в прифермских и полевых хранилищах. Определяется потребность в сельскохозяйственной технике по внесению удобрений и в других материально-технических ресурсах.

При разработке годового плана применения удобрений составляется план организационно-хозяйственных мероприятий по рациональному применению удобрений, включающий технологию применения удобрений и природоохранные меры. В годовом плане рассчитывается ожидаемая экономическая эффективность применения удобрений.

Календарный план внесения удобрений составляется на основе годового плана с целью определения по основным срокам потребности в удобрениях для отдельных культур. В нем рассчитывается производство органических удобрений, накопление и приобретение минеральных удобрений и мелиорантов по видам и формам, указывается объем складов, определяется потребность машин и орудий для транспортировки и внесения удобрений по срокам сельскохозяйственных работ.

Дозы азотных удобрений еще раз корректируют до посева по результатам почвенной, и в подкормках – по результатам растительной диагностики питания растений.

11.3. Система удобрения в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации

Нечерноземная зона. В этой зоне наиболее распространены подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные почвы. Дерново-подзолистые почвы имеют кислую реакцию, низкое содержание гумуса (1–2,5 %) и подвижных соединений элементов питания. Серые лесные почвы содержат 3–4 % гумуса, имеют слабокислую реакцию, в них низкая обеспеченность фосфором и калием.

В Нечерноземной зоне достаточная или избыточная обеспеченность сельскохозяйственных культур влагой и недостаточная или умеренная теплом. Это обуславливает благоприятные условия для эффективного действия удобрений.

Основным условием повышения плодородия почв является их известкование. Другая задача – повышение содержания гумуса в почве. Для поддержания бездефицитного баланса гумуса насыщенность органическими удобрениями на 1 га пашни на дерново-подзолистых почвах должна составлять от 8–10 до 18–20 т/га.

Все культуры, возделываемые в зоне, нуждаются в фосфорных удобрениях, озимые – в весенней подкормке азотными удобрениями. Эффективно сочетание органических удобрений с минеральными. Средние дозы азотных удобрений под зерновые культуры составляет N_{40-60} , для более требовательных культур – N_{90-120} . Эффективно рядковое внесение фосфорных удобрений в дозе P_{10} . На кислых почвах применяется фосфоритная мука. Калийные удобрения требуются прежде всего под картофель, овощные культуры, лен, силосные. Отмечается высокая потребность в борных, медных, кобальтовых и молибденовых микроудобрениях.

Лесостепная зона Европейской части России. Наибольшее сельскохозяйственное значение имеет Центрально-Черноземный регион, где преобладают выщелоченные и типичные черноземы. В северной части зоны распространены оподзоленные черноземы и серые лесные почвы.

Климат благоприятен для возделывания сельскохозяйственных культур, особенно сахарной свеклы, озимых, кукурузы, бобовых. Сумма активных температур составляет 2200–2600°. Осадков за год выпадает 500–615 мм.

Черноземы содержат довольно много гумуса (3,5–5,5 %), серые лесные – до 3 %. В черноземах слабокислая и близкая к нейтральной реакция, серые лесные имеют рН ниже 5,5. Почвы слабо обеспечены фосфором, поэтому наблюдается высокая эффективность фосфорных удобрений. Лучше обеспеченность калием, и эффективность калийных удобрений невысокая. Их вносят под корнеплоды, клубнеплоды, подсолнечник.

Отмечается высокая эффективность основного удобрения под озимую пшеницу, сахарную свеклу, кукурузу на зерно. Распространено припосевное удобрение. Под пшеницу применяются азотные подкормки в дозе N_{40-60} . Большое значение имеет внесение удобрений под кормовые культуры.

Поволжье. Средневолжский и Нижневолжский регионы находятся в лесостепной, степной и полупустынной зонах.

В лесостепи распространены серые лесные почвы; оподзоленные, выщелоченные, типичные и обыкновенные черноземы. Серые лесные почвы содержат 3–6,5 % гумуса, мощность гумусового горизонта 20–40 см, реакция близкая к нейтральной. В оподзоленных и выщелоченных черноземах содержание гумуса 7–8 % при мощности гумусового горизонта до 60 см. Обыкновенные черноземы содержат 6,5–8,5 % гумуса и слабощелочную реакцию.

В степной и полупустынной зонах распространены южные черноземы, каштановые почвы, солончаки и солонцы.

Лесостепная зона имеет благоприятный климат. Годовая сумма осадков составляет 400–500 мм. В сухой степи засушливый климат (осадков за год выпадает 275–350 мм). Часты засухи и суховеи.

Основные типы почв слабо обеспечены подвижным фосфором, калием они обеспечены лучше. На серых лесных, оподзоленных и выщелоченных черноземах наиболее эффективны азотные удобрения, фосфорные эффективны на фоне азотных, калийные – в составе полного минерального удобрения.

На юге лесостепи и черноземной степи на типичных, обыкновенных, южных черноземах и каштановых почвах проявляется высокая потребность в фосфорных удобрениях. Органические удобрения применяются прежде всего под плодово-ягодные и овощные культуры, а также при орошении.

Эффективность удобрений сильно зависит от увлажнения почвы. В засушливые годы лучше действуют фосфорные и калийные удобрения, в благоприятные – азотные. В засушливых южных районах Поволжья эффективность удобрений без орошения низкая и нестабильная. При недостаточном количестве осадков важна глубокая заделка органических и минеральных удобрений.

Сибирь. В Западной Сибири пахотные земли находятся в лесостепной и степной зонах. распространены серые лесные и черноземные почвы. Отмечается высокая эффективность азотных удобрений на посевах яровой пшеницы. Фосфорные удобрения наиболее эффективны на выщелоченных черноземах, калийные удобрения действуют слабее. Органические удобрения рекомендуется вносить на паровое поле и под пропашные культуры. Азотные удобрения в пару не применяются, вносят фосфорное удобрение в рядки.

В Восточной Сибири распространены выщелоченные и оподзоленные черноземы и серые лесные почвы, в степной зоне – обыкновенные и южные глубокопромерзающие черноземы. Ведущая культура – яровая пшеница.

Длительная сезонная мерзлота обуславливает низкое содержание минерального азота в почве. Поэтому в лесостепи на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах более эффективны азотные удобрения. Эффективность фосфорных удобрений существенно зависит от зоны возделывания пшеницы. Калийные удобрения действуют слабо.

Каштановые почвы находятся в зоне сухих степей. Здесь под зерновые культуры эффективны фосфорные и фосфорно-азотные удобрения. Эффективно также припосевное внесение P_{10-20} . Под пропашные культуры при орошении вносят полное минеральное удобрение.

Дальний Восток. Под пашню используются бурые лесные, буро-подзолистые, лугово-бурые оподзоленные, лугово-черноземовидные почвы и пойменные аллювиальные. На Дальнем Востоке преобладает влажные муссонный климат, обуславливающий достаточное и сезонное избыточное увлажнение. Недостаток влаги проявляется редко.

Земледелие сосредоточено в основном в Амурской области, где значительные площади занимают высокоплодородные лугово-черноземовидные почвы. Под зерновые культуры эффективны азотные и азотно-фосфорные удобрения. Под сою, занимающую большие площади на Дальнем Востоке, применяются фосфорные удобрения, невысокие дозы азотных удобрений ($N_{30-40}P_{60-90}$), ризоторфин и молибден. Под кормовые и овощные культуры также эффективны прежде всего азотные и фосфорные удобрения. Калийные удобрения на всех почвах применяются реже.

Буро-подзолистые почвы и некоторые другие имеют кислую реакцию и нуждаются в известковании. В них низкое содержание подвижного фосфора, поэтому эффективно припосевное фосфорное удобрение.

11.4. Особенности системы удобрения на Северном Кавказе

Наряду с общими положениями, при разработке системы удобрения для того или иного региона следует учитывать специфику его физико-географического положения, почвенно-климатических и иных условий. Об этом, в частности, писал еще в конце XIX в. В.В. Докучаев (1892): "Почва и климат суть основные и важнейшие факторы земледелия – первые и неизбежные условия урожая".

Расположенный между Черным, Азовским и Каспийским морями, Северо-Кавказский регион состоит из трех больших районов: Северо-Восточного, Центрального и Северо-Западного Кавказа, каждый из которых имеет свои специфические, присущие только ему физико-географические, в том числе почвенно-климатические особенности.

По физико-географическим условиям, с учетом тепло- и влагообеспеченности, а также характерных почвенных разностей, территорию Северного Кавказа, используемую в настоящее время в сельскохозяйственном производстве, можно условно разделить на пять агроклиматических макрзон (Шеуджен А.Х., Галкин Г.А., Бондарева Т.Н., 1997):

Первая макрзона – степная, засушливая, со среднегодовым количеством осадков 200–300 мм и суммой эффективных температур 3200–3700°C. Основные почвы – светло-каштановые солонцеватые. К этой зоне относится значительная территория северо-восточной части Ставропольского края, восточная часть Ростовской области и северная часть Дагестана.

Вторая макрзона – степная, недостаточного увлажнения, со среднегодовым количеством осадков 300–400 мм и суммой эффективных температур 3100–3400°C. Основные почвы – темно-каштановые, обыкновенные черноземы, средне- и малогумусные. Эту зону составляют Ростовская область, северо-восточная и юго-восточная части Ставропольского края, незначительная часть северных районов Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии, Чечни и центральная часть Дагестана.

Третья макрзона – степная и лесостепная, неустойчивого увлажнения, со среднегодовым количеством осадков 400–600 мм и суммой эффективных температур 2800–3500 °C. Основные почвы – обыкновенные малогумусные, мощные и сверхмощные, типичные, выщелоченные и выщелоченные слитые черноземы; луговые и лугово-черноземные почвы. В эту зону входят юго-западные районы Ростовской области, территория Республики Адыгея и Краснодарского края (за исключением предгорных районов), западная и центральная части Ставропольского края, средние части Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии, Чечни и Дагестана.

Четвертая макрзона – горная, с влажным климатом, со среднегодовым количеством осадков свыше 600 мм и суммой эффективных температур от 1200 до 3600 °C. Почвы преимущественно дерновые, в различной степени оподзоленные и оглеенные; выщелоченные слитые черноземы, серые и темно-серые лесостепные. К этой зоне относятся предгорные районы Краснодарского и Ставропольского краев, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии, Чечни и Дагестана.

Пятая макрзона – горная и особенно высокогорная; в целях земледелия практически не используется.

Таким образом, климатические и почвенные ресурсы Северного Кавказа в целом благоприятны для выращивания различных сельскохозяйственных

культур (в общей сложности их возделывается здесь около 100 наименований). Большое разнообразие почвенно-климатических условий вызывает и существенные различия в системах удобрений.

В этой зоне исключительно важна необходимость приостановления снижения запасов гумуса в почве путем применения органических и минеральных удобрений, травосеяния, сидерации и использования растительных остатков. Длительное невыполнение этого требования привело к значительным потерям гумуса в почве и отрицательному балансу органического вещества. Как отмечает Н.Ф. Коробской (1993), скорость падения содержания гумуса в пахотном слое достигла 0,05 % в год. Для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве в севообороте необходимо вносить навоз из расчета на гектар пашни 8–10 т, или 6–8 т с внесением минеральных удобрений. Эти нормы зависят от почв, севооборотов, количества и видов удобрений.

Высокую эффективность дает применение удобрений под озимую пшеницу и технические культуры – сахарную свеклу, подсолнечник. Применение удобрений снижает затраты воды на единицу зерна. В предгорных районах эффективно удобрение лугов.

На Северном Кавказе значительны площади многолетних насаждений – садов, виноградников, ягодников, требующих внесения удобрений в большом количестве. На Черноморском побережье возделываются субтропические культуры.

Потребность в азотных удобрениях высокая в зоне достаточного и неустойчивого увлажнения, особенно под озимую пшеницу в качестве подкормки.

Потребность в фосфорных удобрениях наибольшая в зоне недостаточного увлажнения на обыкновенных черноземах и каштановых почвах.

На всех почвах проявляется умеренная потребность в калийных удобрениях в составе полного минерального удобрения. Отдельно калийные удобрения нигде не требуются. При внесении невысоких норм азотно-фосфорных удобрений калийные удобрения или не требуются или требуются в небольших количествах. При внесении высоких норм азотно-фосфорных удобрений калийные удобрения требуются в средних количествах.

На почвах, имеющих кислую реакцию, требуется проводить известкование. Имеются значительные площади солонцеватых почв, нуждающихся в гипсовании.

Основное удобрение целесообразно вносить под яблечную вспашку. Внесение их под предпосевную культивацию менее эффективно.

Припосевное удобрение эффективно под все культуры полевого севооборота, особенно под зерновые (фосфорное), сахарную свеклу (азотно-фосфорно-калийное), кукурузу, картофель, овощные (азотно-фосфорное).

Эффективны подкормки под озимую пшеницу и другие культуры по результатам диагностики питания при наличии влаги в почве.

При проектировании систем удобрения нужно исходить из следующего. Органические удобрения вносят раз в 3–5 лет. Нормы основного удобрения рассчитывают по результатам агрохимического обследования полей в зависимости от обеспеченности почвы доступными растениям соединениями элементов питания, а также по данным многолетних полевых опытов, проведенных в производственных условиях. Потребность в подкормках озимой пшеницы определяют с учетом данных почвенной, стеблевой и листовой диагностики.

Система удобрения должна уточняться в зависимости от возможностей хозяйства, особенностей возделываемых сортов и других условий.

11.5. Удобрение культур и системы удобрения

В этом разделе описаны особенности питания растений и их удобрение. Материал приводится по группам культур, возделываемых в севообороте. Удобрение в зависимости от чередования культур приводится в системах удобрения в севообороте. Удобрение культур изложено по опубликованным результатам опытов научно-исследовательских учреждений.

Применение удобрений (дозы, сроки, способы внесения) следует дифференцировать в зависимости от базовых технологий.

Нормальные (низкозатратные) технологии ориентированы для почв невысокого эффективного плодородия, предусматривают стартовые дозы удобрений при посеве.

Интенсивные технологии требуют использования повышенных доз удобрений, дифференцированного использования удобрений по фазам развития.

Высокоинтенсивные технологии ориентированы на высокоточное управление процессами формирования высоких урожаев и требуют использования и строгого соблюдения научно-технических разработок, высокой квалификации специалистов.

Системы удобрения, приводимые в качестве примерных в этом разделе, рассчитаны преимущественно на интенсивные технологии при современном уровне развития науки. При этом приводятся довольно значительные дозы удобрений. С учетом уровня планируемых урожаев, возможностей хозяйства эти дозы могут быть уменьшены в 1,5–2 раза. Как минимум, например, можно оставить припосевное удобрение зерновых культур P_{10-20} , ранневесеннюю подкормку озимой пшеницы N_{30} и другие наиболее эффективные приемы. При этом соотношение видов удобрений должно сохраняться. Если получается доза основного удобрения или подкормки менее 20–30 кг/га д.в., то этот вид удобрения исключается.

11.5.1. Питание и удобрение зерновых, зернобобовых и технических культур

11.5.1.1. Зерновые

В этой группе объединены зерновые культуры, возделываемые в полевых севооборотах.

Озимая пшеница. От всходов до полного кущения растения пшеницы усваивают 30–40 % азота, фосфора и калия от всего потребляемого ими количества. Накопление сухого вещества озимой пшеницей за этот период составляет только 8–10 %. Потребление элементов питания резко возрастает в фазу выхода в трубку и колошения растений, затем снижается. Недостаток азота в этот период приводит к закладке небольшого колоса, с меньшим количеством колосков и цветков. В период формирования зерна низкая обеспеченность азотом приводит к ухудшению его качества из-за уменьшения содержания белка. Фосфор потребляется озимой пшеницей более равномерно вплоть до восковой спелости зерна. Калий начинает усиленно поглощаться раньше, чем азот, но уже после цветения его поглощение замедляется, и содержание в растении уменьшается. Не сбалансированное, повышенное азотное питание в начале роста пшеницы может привести к излишнему ее кущению, в дальнейшем – к затенению растений, полеганию, развитию болезней и снижению урожая. Повышение качества зерна пшеницы не может быть достигнуто без совместного применения минеральных и органических удобрений.

ний, особенно в зонах достаточного увлажнения и при орошении, где применение удобрений дает наибольший эффект в увеличении урожая. Наряду с повышением урожайности и содержанием белка в зерне, при внесении азотных удобрений увеличиваются содержание клейковины, стекловидность, выход муки. Улучшаются также хлебопекарные качества зерна пшеницы.

Накопление белка зависит, прежде всего, от обеспеченности растений азотом. Фосфорные удобрения почти не изменяют содержание белка, а калийные действуют слабо.

Азотные удобрения под основную обработку почвы вносятся в зависимости от предшественника. В северной зоне Краснодарского края вносят N_{40-60} , в центральной и южно-предгорной – N_{40-70} . Меньшая доза дается по лучшим предшественникам – многолетним травам, гороху, кукурузе на силос и другим, большая – по поздним пропашным культурам.

При средней обеспеченности почв фосфором и калием в северной зоне вносят $P_{100}K_{60}$, в центральной и южно-предгорной зонах, включая Адыгею, – $P_{80}K_{60}$. Если под пшеницу вносился навоз, то под основную обработку вносят N_{30} . При посеве во всех зонах вносят суперфосфат из расчета P_{20} .

Подкормки проводятся с учетом почвенной и растительной диагностики в следующие сроки: ранневесенняя (возобновление вегетации), конец кущения – начало трубкавания, колошение, начало формирования зерновки. Ранневесенняя подкормка в дозе N_{30-60} проводится по данным содержания минерального азота в почве. В период от начала выхода растений в трубку до колошения проводится стеблевая диагностика с использованием экспресс-метода. Дозы азота для подкормки устанавливаются по содержанию нитратов в растении:

Балл обеспеченности	0–0,5	0,6–1	1,1–2	2,1–2,5	2,6–3
Доза азота, д.в. кг/га	60	40	30	20	0

Поздняя подкормка от колошения до молочной спелости существенно улучшает качество зерна. Для установления дозы удобрения в этот срок проводят листовую диагностику – определение общего азота в трех верхних листьях (табл. 180; Леплявченко Л.Н., Малюга Н.Г., Леплявченко Л.П., 1983).

Таблица 180 – Потребность озимой пшеницы в азотном удобрении в период колошения и формирования зерновки

Содержание общего азота в листьях, % на сухое вещество		Доза удобрения, д.в. кг/га
колошение – начало цветения	конец цветения – начало формирования зерновки	
<3,0	<2,0	60
3,0–3,5	2,0–2,5	40
3,6–4,0	2,6–3,0	30
4,1–4,5	3,1–3,5	20
>4,5	>3,5	0

Для ранневесенней подкормки используют аммонийную селитру, для поздней – карбамид в виде 30 %-го водного раствора путем опрыскивания.

Удобрение озимой пшеницы в севообороте зависит от предшественников. При посеве по черному пару, пласту многолетних трав накапливается большое количество минерального азота. Дозу азотных удобрений в этом случае корректируют в сторону уменьшения или удобрения вовсе не вносят. По поздно убираемым предшественникам (кукуруза на зерно, подсолнечник), наоборот, в почве содержится

мало минерального азота, и дозу азотного удобрения увеличивают. Внесение фосфорно-калийного удобрения создает сбалансированное питание.

Кубанским государственным аграрным университетом для условий Краснодарского края разработана система удобрения озимой пшеницы, сущностью которой является внесение большой дозы азота перед выходом растений в трубку (Куркаев В.Т., Лысенко А.В., Шарьгин Ю.Н.). По сравнению с существующей системой это позволяет сократить при равных общих дозах азотных удобрений число подкормок и повысить эффективность удобрений.

По рано убираемым предшественникам при высоком содержании минерального азота в почве (примерно 20–30 мг/кг почвы в слое 0–40 см) азотные удобрения до посева не вносятся. По поздно убираемым предшественникам, в зависимости от содержания минерального азота в почве, азотные удобрения вносятся в дозе до N₆₀.

При недостаточной густоте всходов, слабом кущении растений осенью, больших потерях азота из почвы в зимний период, проводится ранневесенняя подкормка в дозе N₃₀.

Основное количество азота (N₉₀₋₁₂₀) вносится в виде аммонийной селитры или карбамида в твердом виде перед началом выхода озимой пшеницы в трубку (начало удлинения нижнего междоузлия – III этап органогенеза по Кулерман). Некорневая подкормка растений в период колошения–цветения не проводится. При такой системе удобрения прибавка урожая на единицу азотного удобрения увеличивается, обеспечивается высокое качество зерна. Это достигается за счет формирования большого числа продуктивных стеблей и более крупного колоса. Однако при недостатке влаги перед выходом растений в трубку эффективность этого приема применения удобрения снижается. В этих условиях вносить удобрения следует раньше.

Яровая пшеница. Хорошо растет на подзолистых и серых лесных почвах, если они окультурены и удобрены, но лучшими для нее являются плодородные черноземные и каштановые почвы. Тяжелые глинистые и легкие песчаные почвы для этой культуры не пригодны.

Размещают яровую пшеницу после пропашных, озимых, зернобобовых культур, по пласту и обороту пласта многолетних трав, чистым парам.

Яровая пшеница предъявляет повышенные требования к условиям минерального питания. В основном это объясняется сравнительно коротким вегетационным периодом и менее развитой, по сравнению с озимой пшеницей, корневой системой. Для создания 1 ц зерна яровая пшеница требует 4,4–6,0 кг фосфора и 2,5–3,0 кг калия. Потребление питательных веществ начинается с первых дней прорастания зерна, когда развиваются корешки и первый листочек, а запасы эндосперма использованы и продолжается 50–55 дней. Именно в самом начале вегетации яровая пшеница на образование каждого грамма своей биомассы потребляет в 2–3 раза больше питательных веществ, чем более взрослые растения (табл 181; Чижов Б.А., Рахлеев В.Д., Славин П.С. и др., 1939).

Таблица 181 – Динамика потребления яровой пшеницей элементов минерального питания, мг/г органического вещества

Фаза вегетации	Азот	Фосфор	Калий
Кущение	48	9	54
Трубкавание	37	8	52
Молочная спелость зерна	19	7	16
Восковая спелость зерна	16	6	12

С самого начала вегетации количество доступных растениям элементов питания в почве должна быть высоким. Особенно это касается фосфора, на который яровая пшеница в первые дни роста и развития более отзывчива, чем на другие элементы. Вместе с тем, растения яровой пшеницы в молодом возрасте наиболее чувствительны к слишком высоким концентрациям солей в почвенном растворе. В первую очередь это относится к легко растворим солям азота.

Недостаток фосфора в начале развития растений не покрывается последующим внесением удобрений и вызывает снижение урожая. Обусловлено это тем, что фосфор сдерживает нарастание вегетативной биомассы в начале вегетации и тем самым способствует повышению засухоустойчивости растений. В фосфорном питании яровая пшеница нуждается до фазы полного колошения растений. Азот ей наиболее необходим от фазы начала кущения – до молочной спелости зерна. Это обусловлено формированием боковых побегов, вторичной корневой системы и зачаточного соцветия – колоса. Калий поступает в растения с первых дней роста и развития до фазы цветения. При недостатке в почве калия, он легко реутилизируется и сосредотачивается в молодых органах и тканях растений.

Наибольшее количество питательных веществ яровая пшеница потребляет в период от выхода в трубку до цветения. На этот период приходится и наибольший прирост биомассы растения. Наилучшие условия для питания растений обеспечивает основное удобрение, которое вносят под вспашку зяби или весной под перепашку, культивацию. Нормы минеральных удобрений зависят от предшественника, планируемой урожайности, плодородия почвы и варьируют в пределах $N_{60-120}P_{40-90}K_{0-60}$. При правильном соотношении азота, фосфора и калия 1 ц полного минерального удобрения увеличивает урожайность зерна яровой культуры на 3–5 ц/га. При посеве озимой пшеницы яровой принимается во внимание удобрение, внесенное с осени. Яровая пшеница хорошо отзывается на припосевное внесение суперфосфата в дозе P_{20} . Оно обеспечивает растения фосфором в наиболее критический период ее роста и развития. Имеет большое значение глубина заделки удобрений. В период кущения растений минеральные вещества, внесенные в верхний 5–10 см слой почвы, способствуют развитию узла кущения и вторичных корней. В фазе выхода растений в трубку яровая пшеница хорошо использует элементы питания, находящиеся в почве на уровне расположения основной массы корней, т.е. в слое 15–25 см.

Для нормального роста и развития яровой пшеницы важное значение имеет сбалансированность минерального питания фосфором. Как недостаток, так и избыток азота и фосфора приводит к нарушению белкового обмена в растениях и значительно снижает урожай. Азотные подкормки проводят в фазу кущения растений, при появлении признаков недостатка этого элемента, в дозе N_{30-45} . В фазы колошения и цветения яровой пшеницы практикуют азотные подкормки с целью повышения содержания белка и клейковины в зерне. Однако такие поздние подкормки эффективны лишь в годы с хорошей влагообеспеченностью растений.

Озимый ячмень. Скороспелость и засухоустойчивость ячменя обеспечивает получение довольно высоких и устойчивых его урожаев во всех почвенно-климатических зонах возделывания. В южных районах Российской Федерации, в частности на Северном Кавказе, яровой ячмень значительно уступает по урожаю озимой пшенице. Поэтому посевы ячменя здесь представлены в основном озимым, как более урожайным. Предпочитает озимый ячмень черноземные и каштановые почвы с нейтральной и слабощелочной реакцией (рН 6,8–7,5). Мало пригодны для него засоленные и солонцеватые почвы. Плохо переносит временное переувлажнение, нежелательно размещение его в пониженных местах.

Озимый ячмень характеризуется высокой интенсивностью ростовых процессов на начальных этапах онтогенеза. На формирование 10 ц зерна с соответствующим количеством побочной продукции эта культура использует 24–30 кг азота, 14–17 – фосфора и 19–26 кг калия. Потребление элементов питания отличается неравномерностью – максимальное – приходится на межфазный период кущения-колошения. В этот период растения озимого ячменя поглощают до 70 % элементов питания от максимального их содержания. К фазе колошения потребление азота растением достигает 90 %, фосфора – 75 %, а калия – заканчивается. Нормы, виды и формы удобрений под озимый ячмень зависят от типа почв, обеспеченности их питательными веществами, насыщенности севооборота удобрениями, предшественников, сортов. Доза основного удобрения $N_{30-60}P_{60}K_{40-60}$. Меньшую дозу азота вносят по колосовым предшественникам, большую – по пропашным.

При посеве вносят P_{20} . Проводят также ранневесеннюю подкормку N_{30-40} . При высоких дозах азота возможно полегание, что снижает эффективность удобрений.

Яровой ячмень. Короткий срок поглощения элементов минерального питания из-за относительно непродолжительного периода вегетации и сравнительно слабая усваивающая способность корней ярового ячменя обуславливают его высокую требовательность к почвенному плодородию. Наиболее пригодны для этой культуры в нечерноземной зоне Российской Федерации суглинистые почвы, в южных районах страны – черноземы. Не пригодны для ярового ячменя кислые, торфянистые почвы. Плохо растет он на песчаных и супесчаных почвах. Такие почвы содержат мало усвояемых питательных веществ, лишь при внесении достаточного количества органических и минеральных удобрений можно, при необходимости, такие почвы отводить под посев ярового ячменя.

На создание 10 ц зерна ярового ячменя растения выносят из почвы в среднем 26 кг азота, 11 – фосфора и 24 кг калия. Больше всего яровой ячмень нуждается в азоте в период от начала кущения до выхода растений в трубку. В это время идет развитие побега кущения, ассимилирующего аппарата и формирование колоса. Недосток азота в этот период приводит к нарушению обмена веществ. В более старых листьях преждевременно распадаются белковые вещества, продукты распада переносятся в молодые листья растений. Поэтому старые листья раньше желтеют и отмирают. Растения, недостаточно обеспеченные азотом, рано переходят в репродуктивную фазу, имеют характерную окраску от светло-зеленой до желтоватой, иногда красновато-желтой. Избыточное его содержание в почве отрицательно сказывается на устойчивости растений к полеганию. При оптимальном обеспечении азотом растения лучше усваивают и другие элементы минерального питания.

Фосфор необходим ячменю в течение всего периода роста и развития растений, так как этот элемент входит в состав органических и минеральных соединений растительной клетки. Оптимальная обеспеченность молодых растений ярового ячменя фосфором способствует хорошему развитию корневой системы и заложению крупного колоса. Недосток этого элемента задерживает рост и развитие растений. Фосфор повышает устойчивость ячменя к болезням и засухе. Внешним признаком фосфорного голодания у молодых растений является красновато-фиолетовая окраска листьев.

Важную роль в жизни растений ячменя, особенно в физико-биохимических процессах, играет калий. Он способствует передвижению продуктов ассимиляции из листьев в стебли, корни и репродуктивные органы. Калий регулирует

водный и азотный обмен, повышает устойчивость к засухе, полеганию, болезням, ускоряет созревание зерна. Яровой ячмень потребляет наибольшее количество калия в начальный период развития растений. В процессе онтогенеза растений из старых листьев калий перемещается в более молодые, недостаток его задерживает нормальный процесс образования углеводов и резко снижает урожай. Признаки недостатка калия в растении – отставание в росте, окраска краев нижних листьев в бурый цвет, которые затем высыхают.

Внесение удобрений способствует значительному повышению урожайности ярового ячменя. Эффективность отдельных видов удобрений зависит от почвенно-климатических условий. На подзолистых, каштановых, серых лесных почвах, деградированных или оподзоленных черноземах яровой ячмень хорошо отзывается на азотные и фосфорные удобрения, на супесчаных и осушенных болотных почвах – на калийные. На обыкновенных черноземах особенно эффективны фосфорные удобрения.

По сравнению с озимым ячменем яровой характеризуется еще более интенсивным поглощением элементов питания, что связано с коротким вегетационным периодом. Из-за сильного полегания дозы удобрений, особенно азотных, ниже, чем под пшеницу. Средняя доза основного удобрения $N_{40-60}P_{40-60}K_{40-60}$ вносится под основную обработку почвы или под предпосевную культивацию. Подкормка азотом при внесении основного удобрения требуется реже. При выращивании кормового ячменя азотные удобрения применяются для повышения содержания белка. При выращивании пивоваренного ячменя азотные удобрения не применяют (или применяют в небольших дозах – N_{20-30}). Не высевают его по ранобуряемым предшественникам, накапливающим в почве много азота.

Овес. Обладая мощной корневой системой, растения овса хорошо растут на разнообразных почвах. Корневая система растения отличается большей усваивающей способностью, чем у яровой пшеницы и ячменя, благодаря чему он легче поглощает малодоступные для растений питательные вещества.

Овес можно возделывать как на тяжелых, так и на легких почвах, на осушенных торфяниках, а так же на песчаных почвах при достаточном увлажнении; мало пригодны для него солонцеватые почвы. Овес лучше других культур переносит повышенную кислотность почвы, но в то же время хорошо отзывается на известкование.

На формирование 10 ц зерна овес выносит из почвы 33 кг азота, 14 – фосфора и 29 кг калия. Характерным для этой культуры является продолжительный период поглощения питательных веществ растениями. Наибольшая интенсивность потребления питательных веществ у овса приходится на период от выхода растений в трубку до молочной спелости зерна. К началу цветения он поглощает 60 % азота, 60 – фосфора, 30–45 – калия и 55 % кальция. В зерне овса максимальное количество азота накапливается в фазе молочной спелости, калия и магния – в восковую, фосфора и кальция – в полную спелость. Овес наиболее требователен к азоту в первый период роста и развития растений. При недостатке этого элемента он плохо растет, листья приобретают светло-зеленую окраску. К недостатку фосфора овес особенно чувствителен в раннем возрасте до образования вторичной корневой системы. Растения овса примерно до четырехнедельного возраста усваивают фосфор преимущественно из припосевного удобрения, а в дальнейшем, по мере развития корневой системы, используют его из почвы. При недостатке фосфора замедляется рост растений и задерживается созревание овса. Обеспечение овса калием – необходимое

условие для нормального роста и развития растений. При недостатке этого элемента листья растений буреют, на них появляются ржавые пятна.

Овес хорошо использует последствие органических удобрений, внесенных под предшествующую культуру. Ориентировочные нормы минеральных удобрений: N_{30-60} P_{40-60} K_{40-60} . В год внесения на создание урожая овес использует от 50 до 70 % азотных удобрений, которые под эту культуру лучше вносить весной. Однако при внесении больших норм азотных удобрений целесообразно половину вносить с осени. Вносить осенью целесообразно аммонийные формы азота, которые не вымываются из почвы. В год внесения овес использует только 20–25 % фосфорных удобрений. Из фосфорных удобрений применяют суперфосфат (простой или двойной) и фосфоритную муку на кислых почвах. Фосфорные удобрения не вымываются из почвы и их можно вносить осенью под зяблевую вспашку. Из-за слабой подвижности фосфатов можно создавать запасы усвояемого фосфора во влажном слое почвы, где находится активная часть корневой системы растений. Глубокая заделка фосфорных удобрений при основном их внесении особенно важна при выращивании овса в условиях недостаточного увлажнения. Из калийных удобрений в основном используют хлористый калий и калийную соль. В составе хлористых калийных удобрений содержится большое количество хлора, который неблагоприятно может действовать на растения овса. В связи с этим на тяжелосуглинистых и глинистых почвах калийные удобрения рекомендуется вносить осенью под зяблевую вспашку почвы, а на песчаных, супесчаных и торфяно-болотных почвах лучше вносить весной под предпосевную обработку почвы. Овес хорошо отзывается на внесение суперфосфата при посеве. При таком локальном внесении применяются дозы P_{10-20} . При недостаточном внесении удобрений под овес или при размещении его на неплодородных почвах очень эффективна подкормка посевов. Проводят ее не позднее фазы кущения. Подкормка способствует лучшему кущению растений, увеличивает число зерен в метелке и урожайность овса. Количество и виды удобрений устанавливают с учетом состояния посевов. На ослабленных, бледно-зеленых посевах вносят в первую очередь азотные удобрения. На хорошо окультуренных плодородных почвах хорошие результаты дает внесение фосфорно-калийных удобрений. Для повышения содержания белка азотные удобрения лучше вносить дробно, как под пшеницу и ячмень, фосфорно-калийные – до посева.

Рожь. Относится к растениям умеренного пояса, однако может расти и в южных районах. Это одна из зерновых культур, которая может расти на разных почвах: дерново-подзолистых, черноземах. Лучшие для ржи почвы легкого гранулометрического состава с малой влагоемкостью. Она способна расти на почвах, имеющих низкую степень насыщенности почв основаниями, даже без известкования, но низкую кислотность (рН 4,0–4,5) плохо переносит. Нетребовательность ржи к почвам объясняется тем, что у нее мощная корневая система, которая способна проникать на большую глубину и полнее использовать питательные вещества глубоко лежащих слоев почвы.

На формирование 10 ц зерна урожая растения ржи затрачивают примерно 35 кг азота, 14 – фосфора и 30 кг калия. Питательные вещества поглощаются этой культурой наиболее интенсивно в фазах кущения и трубкования. В период колошения растения накапливают до 93 % азота, 78 – фосфора и 99 % калия от максимального количества их в урожае. Потребность в азоте особенно ощущается ранней весной, когда процессы нитрификации в почве про-

текают медленно. При недостатке азота листья растений желтеют, затем краснеют и отмирают, задерживается колошение, плохо развивается корневая система. Недостаток фосфора приводит к слабому росту растений, задержке цветения и созревания, в некоторых случаях наблюдается скручивание листьев, с образовавшимися на них фиолетово-красными пятнами, и затем отмирание. Недостаток калия ослабляет ассимиляционную деятельность растений ржи, тормозит процессы синтеза, замедляет отток пластических веществ из листьев в стебли, корни и репродуктивные органы.

Внесение удобрений под рожь эффективно. Каждый центнер азотных удобрений, внесенных под рожь, дает дополнительно 4–5 ц/га зерна, а такие же количества фосфорных и калийных удобрений – 2,0–2,5 ц/га. Ориентировочная норма минеральных удобрений: $N_{40-60}P_{30-60}K_{20-40}$. Азотные удобрения применяют в два приема: 70 % от нормы азотных удобрений вносятся до посева и оставшуюся часть используют в подкормки в период кущения растений. Фосфор удобрений и почвы наиболее интенсивно используется растениями ржи в первые 30–35 дней их вегетации, поэтому фосфорные удобрения следует вносить до посева или при посеве в рядки. Калийные удобрения дают наибольший эффект при внесении до посева.

Просо. Эта культура может возделываться на разных типах почв, начиная с черноземов и кончая солонцеватыми, лугово–болотными и подзолистыми суглинками и супесями. Однако лучшими для него являются, безусловно, черноземы различных типов, а также окультуренные подзолистые почвы, средние по гранулометрическому составу и обеспеченные запасом питательных веществ в легко растворимых формах. В засушливых условиях просо целесообразнее высевать на более тяжелых, а в районах достаточного увлажнения – на более легких, хорошо прогреваемых почвах. Эта культура не выносит очень кислых, заболоченных и тяжелых почв. Оптимальные условия для роста и развития растений проса складывается при нейтральной (рН 6,5) или слабощелочной (рН 7,5) реакции почвенного раствора. По своей потребности к питательным веществам просо отличается от других зерновых культур. До кущения рост и развитие надземных органов и корневой системы протекают медленно, поэтому способность усваивать элементы питания из почвы значительно меньше, чем у других яровых культур. Период усиленного поглощения элементов питания наступает позже, чем у ранних яровых, и совпадает с теплым периодом, когда в почве активно протекают процессы мобилизации питательных веществ. Правильное питание растений проса повышает урожай зерна и соломы и вместе с тем увеличивает крупность зерна и содержание в нем белка. Благодаря удобрениям происходит более производительное расходование растением воды – уменьшение величины транспирационного коэффициента. Под влиянием азота и фосфора изменяется анатомическое строение листа, что влечет за собой повышение фотосинтетической активности растений. Питательные вещества ускоряют наступление плодоношения проса, повышают устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, болезням и вредителям. Для образования 10 ц зерна растениями проса усваивается примерно 30 кг азота, 14 – фосфора, 35 – калия и 10 кг кальция. По выносу названных элементов оно превосходит все зерновые культуры, уступая только кукурузе. Максимум поступления азота и калия у проса отмечен в фазе выметывания растений, фосфора – в период восковой спелости зерна.

Просо хорошо использует питательные вещества из органических и минеральных удобрений, внесенных под предшествующую культуру. Система

удобрения проса включает основное, припосевное и подкормку. На черноземах, серых лесных почвах минеральные удобрения применяют из расчета $N_{40-60}P_{40-60}K_{30-45}$, органические удобрения – 20–30 т/га. Минеральные удобрения при отсутствии их вымывания вносят под зяблевую вспашку. Применение удобрений весной под культивацию не эффективно, так как верхний слой почвы часто пересыхает. Хорошие результаты дает локальное внесение удобрений зерновыми сеялками на глубину 12–14 см поперек посева. Растянность потребления растениями питательных веществ и высокая потребность в них во второй половине вегетации обуславливают необходимость подкормок азотными удобрениями (N_{20}) в период вегетации проса. Подкормка более эффективно действует на фоне основного удобрения. Поэтому основное удобрение нельзя заменять подкормкой. Во время вегетации на ширококорядных посевах рекомендуется делать одну-две подкормки: первую – в начале фазы кущения растений, вторую – перед выметыванием. Примерные дозы минеральных удобрений при первой подкормке: $N_{20}P_{30}K_{20}$, второй – $N_{10}P_{15}K_{15}$. Лучшими минеральными удобрениями для проса являются аммонийная селитра, суперфосфат и хлористый калий. В питании проса существенное значение имеют магний, железо и микроэлементы: бор, марганец, цинк, медь, кобальт, молибден. Они повышают активность различных ферментов, ускоряют биохимические процессы в растениях, способствуют синтезу углеводов, белков, аминокислот, витаминов.

Сорго. К почвам сорго нетребовательно. Оно хорошо растет как на легких песчаных, так и на тяжелых глинистых почвах. Однако наиболее высокие урожаи зерна и кормовой массы получают на плодородных суглинках и легких черноземах.

Сорго необходимо размещать на полях, чистых от сорняков и не зараженных проволочниками. Желательные предшественники для этой культуры – те, после которых поле остается не засоренным и с большим запасом неиспользованной влаги. К ним относятся озимые зерновые и зернобобовые культуры.

Система удобрения сорго включает основное и припосевное. Ориентировочные нормы: $N_{30-60}P_{40-60}K_{25-60}$, навоза 15–30 т/га. Навоз вносят под основную обработку почвы. Фосфорные и калийные удобрения, как правило, применяют под зяблевую вспашку или весной под одну из ранних обработок почвы, азотные – весной под предпосевную культивацию и при подкормке. Гранулированный суперфосфат в дозе P_{20} целесообразно вносить в рядки при посеве.

Гречиха. Произрастает гречиха на разных типах почв, но предпочитает легкие, суглинистые и супесчаные, которые быстро прогреваются, хорошо аэрируются и достаточно обеспечены питательными веществами и влагой. Мало пригодны для нее тяжелые, склонные к уплотнению и заплыванию почвы. Эта культура хорошо развивается на почвах со слабокислой и нейтральной реакцией, но может расти и при колебаниях pH в довольно широких пределах. Наиболее благоприятны для гречихи почва с pH солевой вытяжки 5,0–6,0; несколько хуже она развивается при pH 4,5, а в среде с $pH \geq 7,0$ отмечается угнетение растений.

Требования гречихи к условиям минерального питания обуславливаются ее биологическими особенностями, основные из которых – строение и физиологическая активность корневой системы, характер формирования биомассы и неравномерность потребления питательных веществ в период вегетации. Корневая система гречихи характеризуется слабым развитием, но очень высокой физиологической активностью. По массе корней на единицу площади посева

она уступает пшенице в 2,4 раза, ячменю – в 1,6 раза, а по поглотительной способности, наоборот, превосходит в 2,7 раза пшеницу и в 5,5 раза ячмень. Гречиха способна усваивать из почвы элементы питания в труднодоступной форме, хорошо усваивает фосфор из фосфоритной муки. Для формирования 10 ц зерна гречиха потребляет из почвы 44,0 кг азота, 30,5 – фосфора, 75,5 – калия и 31,2 кг кальция. Питательные вещества гречиха потребляет в течение вегетационного периода неравномерно. За 1,5 месяца после посева она усваивает 61 % необходимого ей азота, 62 % калия и 48 % фосфора. Больше половины фосфора используется растениями в период цветения и налива зерна. Азот больше необходим тогда, когда у растений полностью разовьются корни. К обеспеченности азотом гречиха менее требовательна, чем к другим питательным веществам; повышенное азотное питание вызывает излишнее развитие вегетативной массы в ущерб образованию зерна, а также удлиняет вегетационный период. Более требовательна она к фосфору и калию. От степени обеспеченности этими питательными элементами во второй половине вегетации гречихи зависит величина ее урожая. При дефиците фосфора образуется большое количество соцветий, основная часть которых погибает.

Система удобрения гречихи, как и других культур, включает основное, припосевное и подкормки. Норма удобрения под гречиху $N_{30-40}P_{40-60}K_{40-60}$. Доза основного удобрения под гречиху – $N_{20-30}P_{30-40}K_{30-60}$. Из азотных удобрений рекомендуется сульфат аммония, из фосфорных – можно использовать все формы, в том числе и фосфоритную муку на кислых почвах. При использовании калийных удобрений (хлористый калий, калийная соль) необходимо учитывать повышенную отрицательную реакцию гречихи на хлор. В связи с этим хлорсодержащие калийные удобрения необходимо вносить заблаговременно, под основную обработку почвы, что обеспечивает вымывание хлора за пределы корнеобитаемого слоя. Лучше использовать калийные удобрения, не содержащие хлор.

В качестве припосевного удобрения используют гранулированный суперфосфат. Его вносят из расчета P_{10-20} . Подкормка гречихи эффективна при возделывании ее широкорядным и ленточными способом без основного удобрения. Значимость подкормок выстраивается в следующий ряд: азотные – азотно-фосфорные – полное удобрение. Лучший срок подкормки гречихи – межфазный период бутонизации – начало массового цветения. Гречиха высоко отзывается на некорневые подкормки микроудобрениями. Их проводят водным 0,1 % раствором солей, содержащих микроэлементы (Cu, B, Mo, Zn, Co, Mn) в фазу бутонизации растений; норма расхода рабочей жидкости – 250–300 л/га.

Кукуруза. При правильной обработке почвы, достаточной обеспеченности удобрениями, а также при своевременном высококачественном уходе за посевами в течение всего вегетационного периода растения кукурузы могут давать высокие урожаи почти на всех почвах. Однако кукурузу лучше размещать на почвах с хорошей водоудерживающей способностью и воздухопроницаемостью. Пахотный слой должен быть достаточно глубоким, чтобы способствовать развитию корневой системы, а также должен содержать достаточное количество питательных веществ в легкоусвояемой растениями формах. Самые высокие урожаи кукуруза дает на темно-каштановых почвах, черноземах и почвах речных пойм с нейтральной или слабощелочной реакцией (pH 6,5–7,5). Почвы с повышенной кислотностью (pH < 5), склонные к заболачиванию, а также засоленные – для нее непригодны.

На создание 1 ц зерна с соответствующим количеством листостебельной массы кукуруза в зависимости от величины урожая на черноземах расходует 21,5–

43,4 кг азота; 6,1–15,6 – фосфора и 17,0–25,5 кг калия. Поглощение элементов питания наиболее интенсивно идет в период от выхода в трубку (6–7 листьев) до выметывания метелок, причем поглощение питательных веществ опережает образование сухого вещества. Особенно интенсивно поглощается растениями кукурузы калий. Содержание этого элемента в растениях после цветения початков снижается. Максимальное потребление азота кукурузой наблюдается за 2–3 недели до выметывания. Фосфор поглощается растениями более равномерно.

Недостаток питательных веществ в почве ведет к отклонениям в росте и развитии растений кукурузы. При недостатке азота в начальный период вегетации рост растения замедляется, оно становится чахлым, листья имеют желтовато-зеленую окраску, продолжительность их жизни резко сокращается. Недостаток азота в более позднее время приводит к образованию меньшей ассимилирующей поверхности листьев. Азотное голодание кукурузы чаще может быть в период интенсивного роста вегетативных органов и при формировании початков. В этом случае появляются наиболее характерные признаки недостатка азота: пожелтение верхушек нижних листьев, которое распространяется по главной жилке листа, хотя зеленая окраска по краям листьев сохраняется; затем желтеет и отмирает весь лист. Отмирание листьев при значительном недостатке азота в почве объясняется тем, что азот из нижних листьев кукурузы передвигается к растущим верхним листьям и формирующимся генеративным органам растения. При недостатке фосфора в ранний период развития кукуруза растет медленно, хотя у нее сохраняется темно-зеленая окраска. Иногда растения имеют красновато-фиолетовый оттенок, особенно при затяжной холодной весне. В поздний период развития при недостатке фосфора наблюдается медленный рост растений, затягивается выход рылец пестиков из оберток початков и образуются недоразвитые початки, а также слабо развивается корневая система и удлиняется период вегетации. При калийном голодании проростки и молодые растения кукурузы растут медленно, слабо развивается ее корневая система и растения чаще обычного полегают. Початки остаются плохо выполненными, зерно щуплое. Это происходит в результате задержки оттока синтезированных в листьях органических соединений и резкого снижения интенсивности фотосинтеза. Характерный признак недостатка калия у кукурузы – краевой "ожог" листьев, при котором края листовых пластинок и верхушки приобретают желтую или желтовато-коричневую окраску с красными крапинками, как при поражении ржавчиной (Ефимов И.Т., 1974).

Доза основного удобрения в северной зоне, первой и четвертой подзонах центральной зоны Краснодарского края составляет $N_{60-90}P_{80}K_{60}$, в южно-предгорной и западной зонах $N_{90-120}P_{80}K_{40}$. Органические удобрения вносят по 40–60 т/га. При посеве кукурузы в рядки вносится P_{15-20} . В зоне сильного проявления эрозии фосфорно-калийные удобрения вносят осенью, а азотные весной. Из азотных удобрений под кукурузу чаще используют аммонийную селитру, мочевины и аммиачную воду. Из фосфорных удобрений для внесения под кукурузу эффективны в первую очередь водорастворимые фосфаты – порошковидный и суперфосфат, или двойной гранулированный суперфосфат; термофосфаты – преципитат, обесфторенный фосфат и фосфат шлак. Из калийных удобрений под кукурузу с одинаковым успехом можно использовать хлористый калий, калийные соли и калимагнезию.

Во многих районах Российской Федерации кукуруза нуждается в цинковых удобрениях. Наиболее эффективно проводить подкормку в фазе 6–7 листов водным раствором сульфата цинка из расчета 250 г/га.

11.5.1.2. Зернобобовые

Горох. Наиболее высокие урожаи гороха получают на черноземах. Благоприятны для его возделывания близкие по реакции к нейтральным среднесвязные суглинки и супеси с хорошей обеспеченностью влагой и воздухом, богатые гумусом и усвояемыми формами питательных веществ. Не пригодны для гороха тяжелые, слишком плотные и кислые почвы, склонные к заболачиванию. Плохо удается горох на солонцеватых почвах.

Для формирования 1 ц зерна и соответствующего количества соломы горох потребляет 4,5–6,0 кг азота, 1,7–2,0 – фосфора, 3,5–4,0 – калия, 2,5–3,0 – кальция, 0,8–1,3 кг магния и микроэлементы, прежде всего молибден. Максимальное поглощение элементов питания приходится на период образования бобов. Как бобовое растение, горох способен значительную часть потребности в азоте обеспечивать за счет фиксации азота воздуха. Фиксация азота зависит от наличия клубеньковых бактерий соответствующей расы на его корнях и условий их жизнедеятельности: влажности почвы, ее реакции, обеспеченности бором и молибденом. Этот процесс начинается в фазе двух-трех листьев, достигая максимума в фазах бутонизации – начало цветения, и практически прекращается к наливу зерна. Благоприятные условия для азотфиксации создаются при реакции почвенной среды рН солевой 5,6–6,0; хорошей влагообеспеченности, аэрации почвы, достатке элементов минерального питания, интенсивном фотосинтезе и наличии активных клубеньков на корнях. В этом случае доля симбиотического азота в питании растений достигает 75 % общей потребности в нем, а при ухудшении условий азотфиксации составляет 45 % и ниже. Вот почему система удобрения этой культуры должна быть направлена на создание условий, благоприятных для азотфиксации.

Азотные удобрения под горох или не вносят или применяют в небольших нормах. Дозы основного удобрения составляют $N_{20-40}P_{40-60}K_{0-60}$. При посеве вносят P_{20} . Семена обрабатывают молибденом и ризоторфином. Проводится также азотная подкормка через 2 недели после начала цветения растений для повышения содержания белка. В усилении симбиотической фиксации азота велика роль молибденовых удобрений, их следует применять под горох при содержании доступного растениям молибдена менее 0,3 мг/кг почвы. В качестве молибденового удобрения используют молибденизированный гранулированный суперфосфат. Вносят его в рядки с семенами в дозе P_{20} . Если такого удобрения нет, семена гороха обрабатывают 0,5 % водным раствором молибдата аммония полусухим способом.

Соя. Наиболее полно потенциальные возможности сои реализуются на структурных, хорошо дренированных, богатых гумусом почвах черноземного типа со слабокислой реакцией почвенного раствора. Благоприятны для возделывания сои желтоземы и бурые лесные почвы. Соя хорошо произрастает при сравнительно близком к поверхности уровне грунтовых вод, развивая основную массу корней в пахотном слое, но заболоченные и засоленные почвы без соответствующего улучшения для нее не пригодны.

Соя отличается специфичностью питания, потребляя на формирование урожая больше питательных веществ, чем другие культуры. Неравномерно поглощая элементы питания по фазам развития растений, она обладает способностью, как бобовая культура, ассимилировать молекулярный азот посредством симбиоза с клубеньковыми бактериями. Для формирования 1 ц семян соя усваивает 7,7–10,0 кг азота; 1,7–4,0 – фосфора; 3,2–4,0 кг калия. От

всходов до цветения она усваивает 6–16 % азота; 8,4–12,3 – фосфора; 9,0–23,8 – калия; 10,0–11,0 – кальция и 6,0–8,0 % магния. Остальные количества питательных веществ используются соей от начала формирования до налива зерна. Наибольшее количество азота она потребляет в фазах цветения и формирования бобов, фосфора – в период формирования бобов, калия – через 87–95 дней после всходов, что совпадает с максимальным расходом азота, кальция на 70–80 –й день после появления всходов, магния – на 73–80–й день, серу – в фазу формирования бобов.

У сои максимальное поглощение элементов питания растениями не совпадает с критическим периодом потребности в нем. Для сои критическим в отношении азотного питания является период, охватывающий 2–3 недели до фазы цветения растения и 2 недели после цветения. Недостаток азота в этот период ведет к заметному снижению урожая сои и не может компенсироваться внесением азотных удобрений в более поздние фазы ее вегетации.

При недостатке азота листья у сои остаются мелкими и приобретают желто-зеленую окраску. В фазе появления тройчатых листьев первый лист имеет при азотном голодании светло-зеленую окраску, равномерную по всему листу, второй – желто-зеленую, неравномерную. При дальнейшем развитии растений в условиях азотного голодания новые только что появившиеся листья также приобретают неравномерную желто-зеленую окраску. В фосфорном питании сои критическим периодом считается первый месяц ее вегетации. При недостатке фосфора рост растений сои замедляется, хотя они остаются зелеными или темно-зелеными. Листья, образующиеся в условиях фосфорного голодания растений сои, остаются мелкими, удлинненными, при этом они рано отмирают, становясь полностью бурными. На примордиальных листьях быстро появляются бурые пятна, отмершей ткани. При дальнейшем фосфорном голодании сои побурение и отмирание листьев проявляется все выше по растению. При калийном голодании растения сои так же развиваются слабо. По краям нижних листьев появляются пожелтевшие участки, которые в дальнейшем сливаются и образуют сплошную каемку. Края листьев закручиваются, отмершая ткань отпадает.

Как и другие бобовые культуры, соя значительную часть своей потребности в азоте (до 50–70 %) обеспечивает за счет фиксации азота воздуха и ей также необходимы для этого соответствующие условия. Так как избыток минерального азота в почве подавляет азотфиксацию, в составе удобрений азота вносят меньше, чем фосфора. Соя способна усваивать труднорастворимые соединения фосфора. Калийные удобрения вносят на бедных калием почвах. По данным В.Ф. Баранова, при орошении и в благоприятные по естественному увлажнению годы в неорошаемых условиях, прибавки урожайности сои в 2–4 раза выше, чем при резком недостатке влаги в период вегетации.

При удобрении сои важно следить за формированием нормального травостоя. При излишней густоте стояния растений, чрезмерном росте в начале вегетации, создается затенение растений и опадение цветков и завязей. То же происходит и при недостатке воды, создающемся, в частности, от чрезмерного роста в начале вегетации. В результате резко снижается урожайность.

В ОСХ "Березанское" Краснодарского края на обыкновенном черноземе внесение P_{60} под зяблевую вспашку, N_{20} под предпосевную культивацию, инокуляция семян бактериальными удобрениями (ризоторфином или нитрагином) в среднем за 3 года дало прибавку 4,7 ц/га и дополнительный сбор белка 380 кг/га. Внесение небольшой дозы азота N_{20-30} при посеве обеспечи-

вает потребность в начальные фазы роста, не сказывается отрицательно на образовании клубеньков на корнях сои.

При среднем и низком содержании в почве подвижного фосфора и минерального азота вносят $N_{30}P_{40-60}$. Эффективно припосевное внесение локально $N_{30}P_{30}$ и дополнительно N_{30} в подкормку при последней междурядной обработке. Необходимость подкормки устанавливают по диагностике с помощью прибора ОП-2 или по развитию клубеньков на корнях сои. На плодородных почвах минеральные удобрения не вносят.

Под сою эффективно применение ризоторфина. Хороший эффект дает также смачивание семян раствором молибдата аммония из расчета 25–50 г молибдена на гектарную норму высева семян.

11.5.1.3. Технические культуры

Сахарная свекла. Наиболее пригодны для возделывания сахарной свеклы черноземы, обладающие мощным гумусовым горизонтом с высоким содержанием органического вещества и питательных веществ в верхних слоях почвы с нейтральной или слабощелочной реакцией (рН 7,0–7,5) и хорошими водно-физическими свойствами. Для этой культуры большое значение имеет плотность сложения почвы и ее агрегатный состав. Более пригодны для ее роста структурные почвы с преобладанием водопрочных агрегатов размером 1–3 мм. По гранулометрическому составу предпочтительнее суглинки. На очень тяжелых глинистых почвах свекла развивается плохо. При выращивании на тяжелых по гранулометрическому составу почвах корнеплоды сахарной свеклы ветвятся. Более благоприятные условия для ее роста складывается при следующих показателях объемной массы почвы: черноземов – 1,0–1,2 г/см³; каштановых и серых лесных – 1,2–1,3; дерново-подзолистых – 1,2–1,4 г/см³.

Свекла отличается солевыносливостью и на солонцеватых почвах может давать высокие урожаи с хорошим качеством корнеплодов. Корневая система свеклы хорошо развита, использует питательные вещества из разных слоев почвы и накапливает большую органическую массу. Уже через 2 месяца после посева корневая система ее проникает на глубину 1,0–1,2 м, к концу вегетации до 2,0–2,5 м, а в стороны разрастается более чем на 1 м. В процессе вегетации сахарная свекла выносит довольно большое количество питательных веществ. На образование 100 ц корнеплодов и соответствующего количества ботвы сахарная свекла использует 35–60 кг азота, 10–20 – фосфора и 40–75 кг калия. Такое колебание элементов питания обусловлено разным соотношением корнеплодов и ботвы, при выращивании ее в различных почвенно-климатических условиях.

Потребление элементов питания растениями сахарной свеклы происходит довольно равномерно почти до уборки. В первой половине вегетации особенно необходимо достаточное азотное питание. При его недостатке листья у сахарной свеклы приобретают светло-зеленый оттенок, становятся бледно-желтыми, ускоряется отмирание старых листьев, прекращается рост листьев, ослабляется развитие корневой системы, прирост корнеплода прекращается, – все это приводит к преждевременному созреванию свеклы и снижению ее урожайности. При избыточном азотном питании усиливается развитие листьев, затягивается созревание свеклы, сахаристость корнеплода уменьшается, в нем повышается содержание общего и растворимого азота, а также золы, что снижает технологические качества свеклы. Чтобы получить высокую урожайность корнеплодов с хорошими технологическими качествами, необхо-

димо обеспечить на разных фазах вегетации сахарной свеклы умеренное азотное питание. В период формирования основной массы ее листьев необходимо полностью удовлетворить потребность во всех элементах минерального питания, а по мере приближения растений к созреванию следует несколько ограничить азотное питание растений.

Недостаток фосфора, особенно в начальный период развития сахарной свеклы, приводит к уменьшению содержания нуклеопротеидов и фосфатидов, впоследствии растение не может нормально развиваться даже при последующем нормальном обеспечении его фосфорным питанием. При фосфорном голодании резко тормозится рост ассимиляционного аппарата и корнеплодов. При этом листья приобретают тусклую темно-зеленую окраску с характерным синеватым оттенком. На них появляются темно-бурые пятна, края подсыхают, образуя бурую кайму. Достаточное обеспечение фосфором растений способствует более быстрому образованию листьев, нарастанию корнеплодов, ускорению созревания свеклы, повышению сахаристости и улучшению технологических качеств корнеплодов.

Калий для сахарной свеклы нужен в течение всего вегетационного периода, но особенно в конце, так как он повышает сахаристость корнеплодов. Сахарная свекла – калиелюбивое растение. Она хорошо переносит хлорсодержащие удобрения и положительно отзывается на натрий, который повышает содержание сахара в корнеплодах.

При недостатке калия снижается урожайность сахарной свеклы и содержание сахара в корнеплодах, уменьшается болезне- и засухоустойчивость растений, замедляется образование хлорофилла в листьях и ослабляется процесс фотосинтеза. О неудовлетворенном обеспечении растений калием можно судить по их внешнему виду. При недостатке калия между боковыми жилками листьев появляются светлые пятна, а сами жилки остаются зелеными, края листьев желтеют и засыхают, приобретая темно-коричневый цвет.

В качестве основного удобрения под сахарную свеклу вносят 40–50 т/га навоза, на слитых черноземах и при орошении – 60 т/га под предшествующие озимые или непосредственно под свеклу. Навоз должен быть хорошо подготовленным и не содержать всхожих семян сорняков, что особенно важно при внесении непосредственно под сахарную свеклу. Рекомендуемые нормы минеральных удобрений представлены в таблице 182.

Таблица 182 – Нормы минеральных удобрений под сахарную свеклу при планируемой урожайности 300–350 ц/га, д.в. кг/га

Почва	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозем обыкновенный	80–90	100–120	90
Чернозем типичный	100	100	90
Чернозем выщелоченный	120	90	90
Чернозем выщелоченный слитой	90	90	90

При совместном применении минеральных и органических удобрений нормы минеральных удобрений следует уменьшить. Удобрения вносят под вспашку. При размещении сахарной свеклы в звене севооборота после многолетних трав норму азотных удобрений уменьшают на 20–40 %. Под свеклу рекомендуется также припосевное удобрение N₁₀P₂₀K₁₀. Подкормки малоэффективны, когда наблюдается дефицит влаги в почве.

Сахарная свекла чувствительна к недостатку бора. На почвах с содержанием водорастворимого бора ниже 0,2–0,3 мг/кг почвы целесообразно предпосевная обработка семян: намачивание 0,05 % раствором микроэлемента (2 л рабочего раствора на 1 ц семян). Можно проводить предпосевную обработку семян опудриванием бормагнезиевым удобрением (300–500 г/ц семян). Недостаток бора можно возместить и внесением борных удобрений весной под культивацию: борного суперфосфата (3–3,5 ц/га) или бормагнезиевого удобрения (1 ц/га).

Подсолнечник. Наиболее благоприятными для выращивания подсолнечника являются черноземы, каштановые и серые лесные почвы. Плохо растет он на песчаных и солонцеватых почвах, на почвах тяжелого гранулометрического состава, которые медленно прогреваются. Мощная корневая система подсолнечника, глубоко проникая в почву, проходит через ее плотные горизонты, последующие культуры используют ходы корней этой культуры и влага по ним проникает глубже. Для этой культуры оптимальная кислотность почвы близка к нейтральной (рН 6,0–6,8), а гранулометрический состав – среднесуглинистый.

Подсолнечник отличается повышенными требованиями к пищевому режиму почвы, по сравнению с другими полевыми культурами. На формирование 10 ц семян и соответствующего количества вегетативной массы подсолнечник расходует в среднем 56 кг азота, 24 – фосфора и 138 кг калия, тогда как озимая пшеница на формирование такого же урожая выносит из почвы азота в 2,5; фосфора – в 3,5; калия – в 16 раз меньше. Из общего выноса с урожаем в семенах подсолнечника содержится 44 % азота, 77 – фосфора и только 12 % калия.

Период потребления элементов питания растениями подсолнечника растянут во времени: поглощение элементов питания продолжается до тех пор, пока ассимиляционный аппарат остается фотосинтетически активным, т.е. зеленым. Однако максимум усвоения питательных веществ, приходится на фазы цветения: 92 % азота, 54 – фосфора и 88 % калия от общего количества потребляемого растениями. Наибольшее количество фосфора потребляется в межфазный период всходы-цветение, азота – от начала образования корзинки до фазы цветения, калия – от образования корзинки до созревания семян. На рост, развитие и урожай подсолнечника азот, фосфор и калий действуют по-разному. Азот усиливает рост вегетативных органов и корзинок. Однако избыточное азотное питание растений неблагоприятно сказывается на накоплении масла в семенах, потому что содержание белка в семенах повышается, а их масличность – резко снижается. При избытке азота растения образуют большую вегетативную массу, нерационально используя воду. Это приводит к недостатку влаги в критические фазы развития подсолнечника (цветение и налив). Повышается восприимчивость к болезням и вредителям. Более благоприятно на урожай и качество семян подсолнечника сказывается умеренное азотное питание в начале вегетации – до образования корзинки и после цветения и повышенное в межфазный период от бутонизации до цветения.

Фосфор способствует более мощному развитию корневой системы подсолнечника, заложению репродуктивных органов с большим числом зачаточных цветков в корзинке. При достаточном фосфорном питании ускоряется развитие растений, более рационально расходуется влага, в результате чего они более стойко переносят засуху и недостаток влаги в почве. При усиленном фосфорном питании резко снижается коэффициент водопотребления растениями подсолнечника. Критическим в потреблении фосфора является период от всходов до образования корзинки. Недостаток фосфора в это время приводит к нарушению азотного обмена и снижению качества семян. После

образования корзинки подсолнечник менее требователен к фосфорному питанию, однако много фосфора растения выносят в период бутонизации – цветения. Более благоприятно для формирования высокого урожая семян подсолнечника играет повышенное фосфорное питание от всходов до образования корзинки и умеренное – после цветения.

Подсолнечник – калиелюбивая культура. Калий играет важную роль в процессах фотосинтеза, водном, углеводном обмене растений подсолнечника. Оптимальным уровнем калийного питания растений является умеренное до образования корзинки, и повышенное – после образования корзинки до созревания семян. Избыток калия в начале вегетации отрицательно сказывается на урожае семян. Благодаря высокой усвояющей способности корней подсолнечник, как правило, удовлетворяет потребность в этом элементе питания за счет запасов его в почве и на калийные удобрения реагирует слабо.

Навоз под подсолнечник вносят в дозе 20–40 т/га. Действие его продолжается 2–3 года. Наибольшее увеличение урожая дает азотно-фосфорное удобрение. Внесение калийных удобрений на черноземах не повышает урожай, хотя подсолнечник потребляет калия больше других культур. Калийные удобрения дают положительный эффект на бедных калием почвах.

На черноземных почвах без орошения эффективно внесение под вспашку $N_{60}P_{90}$. На почвах, бедных калием, к этим удобрениям добавляют K_{40-60} .

В стационарных опытах ВНИИМК при внесении удобрений под зябь в среднем за 3 года наибольший эффект получен при дозе $N_{60}P_{60}$. Увеличение доз снижало масличность семян.

Дозы удобрений корректируют по содержанию подвижного фосфора в почве (табл. 183; Васильев Д.С., 1990).

Таблица 183 – Потребность подсолнечника в удобрениях в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве

Содержание подвижного фосфора, мг/100г почвы		Обеспеченность почв	Дозы основного удобрения	
по Чирикову	по Мачигину		осенью под зяблевую вспашку	локально-ленточным способом при посеве
<20	<2,5	Низкая	$N_{40-60}P_{60-90}$	$N_{40}P_{60}$
20–24	2,–3,5	Средняя	$N_{40}P_{60}$	$N_{20}P_{30}$
>24	>3,5	Высокая	0	0

Локально-ленточным способом при посеве удобрения вносят на глубину 10–12 см и на 6–10 см в сторону от рядка в дозе $N_{20}P_{30}$ переоборудованной сеялкой.

Подкормку проводят в ранние фазы при первой междурядной обработке локально-ленточным способом на глубину 10–12 см и в сторону от рядка на 10–12 см в дозе $N_{20}P_{30}$ при содержании в 10–12-дневных растениях до 0,8 % общего фосфора (оценка до 2 баллов по экспресс-методу Церлинг). При более высоком содержании фосфора подкормка не требуется.

Клещевина. Наиболее пригодны для возделывания клещевины черноземы и каштановые почвы, легкие и средние по гранулометрическому составу. Песчаные почвы для нее менее пригодны. Плохо удается на засоленных, глинистых, заболоченных почвах. Не подходят для клещевины участки с близким уровнем грунтовых вод, где интенсивный рост вегетативной массы снижает приспособленность к комбайновой уборке, ведет к запаздыванию созревания.

Клещевина требовательна к почвенному плодородию и высоко отзывается на внесение минеральных и органических удобрений. По выносу питательных веществ из почвы на единицу урожая она в 2–4 раза превосходит озимую пшеницу. На формирование 10 ц семян клещевина расходует 64–68 кг азота, 14–20 – фосфора и 52–56 кг калия. Интенсивность потребления элементов питания в различные фазы вегетации неодинакова. Больше их используется во второй половине вегетации. Усиленное азотное питание перед образованием соцветий, значительно повышает урожай. Клещевина обладает повышенной способностью усваивать фосфор, кальций, железо из труднодоступных соединений. На черноземных почвах она слабо реагирует на внесение калийных удобрений. На выщелоченных черноземах наиболее высокие урожаи семян обеспечивает азотно-фосфорное удобрение, а на обыкновенных черноземах – фосфорное или азотно-фосфорное. Лучшие результаты при разбросном способе дает осеннее внесение удобрений под зяблевую вспашку, весной вразброс под культивацию зяби нецелесообразно в годы с недостаточным количеством осадков. Припосевное удобрение клещевины дает значительно меньшие прибавки урожая, чем основное. Однако при недостатке удобрений в хозяйствах этот способ внесения необходимо применять на всей площади посева культуры в дозах $N_{10} P_{20}$ на выщелоченных черноземах и P_{20} на обыкновенных. Клещевина отзывчива на внесение органических удобрений. Навоз вносят из расчета 20–30 т/га под зяблевую вспашку.

Лен масличный. Из-за относительно слаборазвитой корневой системы предъявляет высокие требования к уровню плодородия почвы. Эта культура в наибольшей степени нуждается в азоте в период фазы "елочки"–цветения, а в фосфоре и в калии – в течение всего вегетационного периода. Недостаточное снабжение растений азотом отрицательно сказывается на процессе формирования урожая. Но и избыток этого элемента питания негативно влияет на устойчивость к полеганию, содержание масла, ведёт к задержке образования бутонов и цветков, неравномерному созреванию и усложнению уборки урожая.

При низкой обеспеченности почвы элементами питания оптимальной нормой удобрения для льна масличного является $N_{60}P_{60}K_{60}$, при средней – $N_{30}P_{30}K_{30}$

Важное значение имеет способ и сроки применения удобрений. Лучше всего их вносить осенью под основную обработку почвы, когда они довольно равномерно распределяются в пахотном слое и хорошо используются корневой системой растений. При весеннем внесении под культивацию зяби большая часть удобрений сосредотачивается в верхнем слое почвы и при его подсыхании питательные элементы могут быть малодоступны растениям. Совершенно неэффективно внесение фосфорных и калийных удобрений под предпосевную обработку почвы, которая проводится на глубину 3–5 см. Высокий эффект дает припосевное внесение фосфорных удобрений в дозах P_{10-20} в форме суперфосфата или 50 кг/га органо-минерального удобрения (ОМУ). Если удобрения не были внесены до сева или одновременно с ним, посеvy льна масличного можно обрабатывать в фазу "елочки" мочевиной в дозе N_{30} . Внесение такой дозы азота в эту фазу не вызывает задержки отцветания и созревания растений льна масличного.

Для оптимального развития льна масличного необходимо достаточное снабжение его микроэлементами. На недостаток цинка, бора, железа лен реагирует недоразвитием и отставанием в росте. Дефицит микроэлементов устраняется применением их для предпосевной обработки семян или внесением в подкормку в фазу "елочки". В последнем случае их можно применять

отдельно в составе комплексного удобрения (кристалон, акварин и др.) или баковой смесью с мочевиной.

Табак. Высококачественное сырье табака получают на легких и средних по гранулометрическому составу и структурных почвах с невысоким содержанием гумуса – 2,0–2,5 %. Лучшее по качеству сырье табака формируется на почвах, бедных азотом. Для ароматических сортов табака пригодны малогумусные, легкие по гранулометрическому составу почвы на склонах с примесью мелкой гальки или щебня. Табак скелетной группы дает доброкачественную продукцию на серых лесных, подзолистых бурых, легких и средних по гранулометрическому составу почвах Северного Кавказа. Для табака пригодны как слабокислые, так и слабощелочные почвы с колебанием pH 4,5–8,5.

Табак возделывается преимущественно на почвах среднего и несколько пониженного плодородия, что определяет большое требование этой культуры к удобрениям. Для образования 10 ц табачного сырья, т.е. высушенных листьев растения, табак потребляет из почвы 40 кг азота, 20 – фосфора и 70 кг калия.

Азотные удобрения усиливают рост и развитие растений, увеличивают урожай табачного сырья. При их избытке повышается содержание белков и никотина, резко снижается ароматичность сырья у сортов табака ароматической группы. В хорошем папиросном табаке, как правило, содержится 2–3 % азота и 1,0–2,5 % никотина.

Фосфорные удобрения ускоряют развитие табака, усиливают синтез углеводов, улучшают рост корневой системы и повышают качество табачного сырья.

Калийные удобрения ускоряют рост и развитие растений табака, повышают устойчивость к бактериальной рябухе, способствуют накоплению углеводов и улучшают горючесть сырья. Ухудшают последний показатель калийные удобрения, содержащие хлор. Под эту культуру на слитых черноземах, темно-серых лесных почвах средней нормой минеральных удобрений является $N_{60}P_{50}K_{100}$. Фосфорно-калийное удобрение вносят под зяблевую вспашку, азотное – весной под культивацию зяби. На остальных почвах вносят $N_{45}P_{90}K_{100}$. На бурых лесных почвах полную дозу удобрений вносят весной под культивацию зяби. Навоз вносят под предшественник. При удобрении табака нельзя допускать избытка азота.

Кориандр. К почвам кориандр предъявляет высокие требования. Лучшими для него являются почвы, имеющие глубокий гумусовый горизонт, хорошую структуру, большой запас питательных веществ, нейтральную реакцию почвенной среды. Не пригодны для кориандра бесструктурные, тяжелые глинистые и легкие супесчаные почвы.

Для формирования 10 ц семян кориандр выносит из почвы в среднем 42 кг азота, 16 – фосфора и 40 кг калия. По выносу азота и калия он приближается к колосовым хлебам, а по выносу калия значительно превосходит пшеницу. Максимум содержания азота и зольных элементов в растениях приходится на начальные фазы его развития и на молодые органы. В дальнейшем, по мере старения и накопления органического вещества, содержание их постепенно снижается. В фазу цветения растений наибольшее количество азота и зольных элементов, кроме фосфора, находится в листьях. Фосфор к этому времени сосредотачивается в соцветиях. К моменту созревания основная масса элементов питания сконцентрирована в семенах, за исключением кальция, большая часть которого перемещается в стебли.

Применение удобрений повышает урожайность на 2,5–3 ц/га. Нормы удобрений составляют на черноземе обыкновенном $N_{60}P_{80}$, на выщелоченном

и типичном $N_{60}P_{60}K_{40}$. Удобрения вносят под зяблевую вспашку. При недостатке удобрений можно ограничиться внесением $N_{10}P_{20}$ в рядки. Навоз применяется в количестве 20 т/га с добавлением 1–2 ц суперфосфата. Разумеется, рекомендуемые нормы и соотношения удобрений должны корректироваться по имеющимся в хозяйствах картограммам обеспеченности почв подвижными формами питательных элементов. Для кориандра большое значение имеют также формы минеральных удобрений: при высокой степени насыщенности почвы основаниями – выше 90 %, нитратная и аммонийная формы азотных удобрений по своему действию равноценны; при меньшей насыщенности основаниями – ниже 90 %, под эту культуру следует вносить азотные удобрения в нитратной форме. На таких почвах нитрат аммония лучше сульфата аммония. Однако на солонцеватых почвах предпочтение следует отдать сульфату аммония. Из фосфорных удобрений – суперфосфат пригоден для всех почв. На почвах с более или менее кислой реакцией можно применять нерастворимые фосфаты, например, фосфоритную муку. Хлористый и сернокислый калий равноценны по влиянию на урожай кориандра, но на солонцеватых черноземах лучше вносить сернокислый калий.

Мята. К почвам мята предъявляет очень высокие требования. Лучшими для нее являются наносные почвы пойм рек, супесчаные или суглинистые черноземы. Песчаные, каменистые тяжелые и заболоченные почвы отводить под эту культуру не следует. Оптимальная реакция почвенной среды pH 5–7. С урожаем зеленой массы 43,6 ц/га мята выносит 98,1 кг азота; 34,2 – фосфора и 44,2 кг калия.

Внесение отдельных элементов питания и норм удобрений под мяту должно проводиться с учетом плодородия почвы, условий увлажнения района возделывания, вида и количества удобрений, внесенных под предшественник, а также потребности растений в элементах питания.

Под мяту вносят $N_{135}P_{180}K_{135}$ или навоз 20–40 т/га с $N_{30}P_{30}K_{30}$. Эффективно также внесение удобрений при посадке сбоку рядков $N_{90}P_{120}K_{90}$ или половинную дозу. На 2–3-й годы вносят $N_{135}P_{120}K_{135}$. Фосфорно-калийные удобрения под мяту вносят в октябре, азотное – весной. Под эту культуру лучше использовать нитратные формы азота, чем аммонийные.

Анис. Для возделывания аниса более пригодны легкие и средние по гранулометрическому составу черноземные почвы с невысокой емкостью обмена. Не пригодны для него тяжелые глинистые, легкие песчаные почвы, а также участки с близким залеганием грунтовых вод. Вместе с урожаем анис выносит из почвы значительное количество питательных веществ, особенно азота и калия. Поэтому он особенно чувствителен к недостатку в почве этих элементов питания. На формирование 10 ц зерна в среднем требуется 35 кг азота, 12 – фосфора и 40 кг калия. Максимум поглощения элементов питания приходится на период от стеблевания до цветения растения.

Удобрения $N_{40-60}P_{60-90}K_{40-60}$ вносят под зяблевую вспашку. При посеве по хорошо удобряемым предшественникам вносят меньшие дозы удобрений. При весеннем внесении под предпосевную культивацию эффективность удобрений снижается на 20–25 %. Навоз вносят под предшествующую культуру во избежание чрезмерного развития вегетативной массы в ущерб урожаю семян. Эффективность удобрений резко снижается при их внесении в рядки при посеве, или в подкормки во время вегетации, особенно в засушливую погоду.

Тмин. Культура тмина хорошо удается на структурных черноземах. На песчаных и известковых суглинках тмин дает довольно высокие урожаи, од-

нако при обязательном внесении удобрений. Почвы заболоченные, с кислой реакцией и высоким залеганием грунтовых вод для тмина непригодны.

При посеве тмина после удобренных озимых зерновых культур под него вносят осенью $N_{30-40}P_{40-50}K_{20-30}$. Если под предшественники удобрения не применяли, то помимо минеральных удобрений вносят навоз из расчета 20–30 т/га. Основной способ внесения удобрений под тмин – заделка их под плуг во время зяблевой вспашки. Гранулированные минеральные удобрения целесообразно вносить под эту культуру в рядки одновременно с посевом. Тмин также хорошо использует минеральные удобрения в виде подкормки. Под последнюю осеннюю междурядную культивацию дают $P_{30}K_{20}$, после переделки под боронование – N_{20-30} . Подкормки обеспечивают прибавку урожая семян в 4–5 ц/га. Для весенней подкормки тмина можно использовать местные удобрения: навозную жижу, птичий помет. Птичий помет вносят в сухом измельченном виде по 4–5 ц/га, а навозная жижа разбавляется водой в соотношении 1:6 и вносится в количестве 5–7 т/га. Подкормку минеральными и местными удобрениями рекомендуется проводить в самые ранние сроки по мерзлой почве, используя для этого утренние заморозки.

Фенхель. Лучшие почвы для фенхеля – хорошо окультуренные, плодородные черноземы, наносные пойменные земли. Непригодны для него тяжелые глинистые, заплывающие и заболоченные почвы. Лучшими предшественниками для фенхеля являются озимые колосовые, идущие по удобренным чистым или занятым парам. Хорошие урожаи он дает и после овощных культур, а также картофеля и конопли. Фенхель можно высевать после однолетних трав, убранных на зеленый корм, сахарной свеклы. Не рекомендуется возделывать его после подсолнечника и кукурузы на зерно.

Под фенхель рекомендуется вносить только минеральные удобрения. В виде основного удобрения применяют $P_{40-50}K_{40-50}$. Азотные удобрения вносят весной под культивацию из расчета N_{40-50} . Фенхель положительно отзывается на припосевное внесение суперфосфата в дозе P_{50} . Чтобы не понизилась всхожесть, семена смешивают с суперфосфатом непосредственно перед их высевом.

Горчица. В культуре два вида: горчица сизая и горчица белая. К почвам горчица сизая не требовательна. Хорошо удается на черноземных и каштановых почвах. Малопригодны для нее тяжелые, заплывающие и засоленные почвы. Горчица белая менее требовательна к почвам, чем горчица сизая. Может произрастать на подзолистых почвах, так как имеет корневую систему с высокой усваивающей способностью, но благоприятны для нее суглинистые и супесчаные черноземы.

Лучшими предшественниками горчицы в севообороте является озимые и яровые зерновые культуры, а также пропашные культуры, чистые от сорняков. Нельзя размещать ее после культур семейства капустовых во избежание массового распространения вредителей и болезней.

На образование 10 ц семян горчица выносит из почвы 70–75 кг азота, 25–30 – фосфора и 50–60 кг калия. Она хорошо отзывается на последствие навоза и прямое действие минеральных удобрений. Основное удобрение $N_{30-35}P_{45-60}K_{45-60}$ вносят под зяблевую вспашку. При посеве в рядки эффективны фосфорные удобрения в дозах P_{15-20} .

Рапс. В культуре два вида: озимый рапс и яровой рапс (кольза). Лучшие почвы для озимого рапса черноземные, каштановые, серые лесные, оподзоленные суглинки (при известковании). Не пригодны для него тяжелые глинистые и заболоченные почвы. Плохо переносит близкое стояние грунтовых вод. Яро-

вой рапс к почвам менее требователен, может произрастать на различных почвах, в т. ч. и на кислых подзолистых после известкования.

Из всех культур семейства капустовых рапс предъявляет самые высокие требования к плодородию почвы. При урожае семян 20 ц/га он выносит из почвы 138 кг азота, 58 – фосфора и 159 кг калия.

Совместное применение органических и минеральных удобрений дает значительные прибавки урожая рапса. Навоз лучше вносить под предшествующую культуру из расчета 20–30 т/га. Основное удобрение $N_{30-45}P_{45-60}K_{40-60}$ применяют под зяблевую вспашку. Эффективны ранневесенние азотные подкормки (N_{40-60}). На кислых почвах, бедных бором и марганцем, эффективно внесение борных и марганцевых микроудобрений.

Рыжик. Может произрастать на легких супесчаных и солонцеватых почвах, хуже переносит заплывающие тяжелые почвы. Он растет плохо на тяжелых глинистых и кислых почвах. Лучшие предшественники рыжика – озимые и пропашные культуры.

Рыжик наиболее отзывчив на полное удобрение, внесенное под зябь в норме $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Арахис. Лучшие почвы для арахиса – черноземы легкого гранулометрического состава. Для него не пригодны засоленные и заболоченные почвы.

Лучшим предшественником арахиса является озимая пшеница, идущая по пласту или обороту пласта многолетних трав, удобренному навозом, черному пару, а также после удобренных пропашных культур. Сам арахис является хорошим предшественником для многих полевых культур.

К плодородию почвы арахис предъявляет высокие требования. На 10 ц семян и соответствующее количество вегетативной массы он выносит из почвы 62 кг азота, 11 – фосфора и 40 кг калия. Арахис отзывчив особенно на внесение фосфорных удобрений и на азотные, при ослаблении деятельности азотфиксирующих микроорганизмов на выщелоченных черноземах и каштановых почвах.

Ориентировочные нормы удобрений: 20–30 т/га навоза совместно $P_{40}K_{30}$ или полное минеральное удобрение – $N_{40}P_{60}K_{40}$. Арахис при орошении требует подкормку перед наступлением фазы цветения ($N_{40}P_{30}$) и в период массового плодообразования ($N_{60}P_{30}$).

Перилла. Лучшие почвы для периллы – структурные черноземы и наносные почвы речных долин. Не пригодны для нее засоленные, а также песчаные и супесчаные почвы.

В севообороте периллу размещают после зерновых, пропашных и бобовых культур.

Применение 30 т/га навоза под посеvy периллы удваивает урожай. Примерные нормы минеральных удобрений $N_{45}P_{60}K_{40}$, навоз или полное минеральное удобрение вносят под зяблевую вспашку, азотные удобрения можно применять весной под культивацию.

Ляллеманция. К почвам ляллеманция не предъявляет особых требований. Ее можно возделывать на многих почвах, но наиболее высокие урожаи дает на черноземах.

В севообороте ляллеманцию размещают после пропашных и озимых зерновых культур. Имея короткий вегетативный период, сама ляллеманция, в свою очередь, служит хорошим предшественником озимых зерновых культур.

Ляллеманция наиболее отзывчива на внесение под нее 20–30 т/га навоза или минеральных удобрений в норме $N_{45}P_{45}K_{45}$. Как минеральные, так и органические удобрения вносят под зябь.

Кунжут. Лучшими для кунжута являются черноземные почвы по гранулометрическому составу, легкие суглинистые и супесчаные. Не пригодны для него заболоченные, засоленные почвы с близким залеганием грунтовых вод. Слитые черноземы малопригодны, так как образуют корку, затрудняющую появление всходов кунжута.

В севообороте кунжут размещают после озимой пшеницы, кукурузы и зернобобовых культур.

Кунжут предъявляет повышенные требования к плодородию почвы. На образование 10 ц семян и соответствующего количества вегетативной массы он потребляет из почвы 80–90 кг азота, 20–25 – фосфора и 90–100 кг калия.

Ориентировочные нормы удобрения под кунжут $N_{60}P_{60}K_{60}$ или 20–25 т/га навоза совместно с минеральными удобрениями $N_{30}P_{30}K_{30}$. Эффективно припосевное внесение в рядки гранулированного суперфосфата из расчета P_{20} .

Кунжут относят к растениям с растянутым периодом потребления элементов питания. Примерно 65–70 % азота, фосфора и калия поступает в растение в фазе цветения, поэтому кунжут отзывчив на подкормки, которые проводят в фазе бутонизации. Рекомендованные дозы минеральных удобрений при проведении такой подкормки $N_{20}P_{30}K_{30}$.

Сафлор. К почвам сафлор не требователен, переносит засоление. Не удаётся на кислых, заболоченных почвах, с высоким уровнем грунтовых вод. Лучшими для него являются черноземы и каштановые почвы.

В севообороте сафлор размещают после зерновых колосовых культур и кукурузы. Сам сафлор является хорошим предшественником для яровых зерновых культур.

Сафлор отзывчив на внесение азотно-фосфорных удобрений, особенно во влажные годы. Ориентировочные нормы удобрений: $N_{45}P_{60}$, на почвах бедных калием – $N_{45}P_{60}K_{45}$.

Мак масличный Лучшими для мака являются легкие супесчаные, суглинистые каштановые почвы и черноземы. Не пригодны для его возделывания солонцы, а также тяжелые заплывающие почвы с близким уровнем стояния грунтовых вод.

В севообороте мак размещают после озимых зерновых культур и кукурузы. Вносят под зяблевую вспашку 20–30 т/га навоза или минеральные удобрения в дозе $P_{60}K_{40}$. Высокоэффективно припосевное внесение фосфорных удобрений в рядки из расчета P_{20-30} . При недостатке фосфора в фазу бутонизации растений проводят фосфорную подкормку. Ориентировочная доза для корневой подкормки P_{20-30} . Удобрение заделывают в почву на глубину 8–10 см.

Роза эфиромасличная. Лучшие почвы для розы – черноземы выщелоченные суглинистые, наносные почвы речных долин. Она хорошо растет на горно-лесных выщелоченных почвах предгорий Кавказа. Мало для нее пригодны тяжелые глинистые, заболоченные почвы с близким уровнем залегания грунтовых вод. Плантацию розы закладывают на запольных участках с высокоплодородными почвами. Лучшим для этой культуры местом являются долины рек, где имеется возможность для орошения в течение всего вегетационного периода растений.

Роза предъявляет повышенные требования к наличию в почве питательных веществ. С годичным приростом цветков, листьев и побегов она выносит из почвы в среднем с гектара 50 кг/га азота, 10 – фосфора и 80 кг калия, а за время существования плантации соответственно 700–800, 200–300 и 900–1000 кг/га.

Для удовлетворения потребностей розы в элементах минерального питания перед закладкой питомника под плантажную вспашку в почву вносят 30–40 т/га навоза совместно с P_{20-30} в форме суперфосфата. Для создания благоприятных условий приживаемости и роста молодых растений практикуется припосевное внесение органических и фосфорных удобрений. Основное и припосевное внесение удобрений обеспечивает растение питательными веществами в первые годы жизни. В последующие годы роза нуждается в подкормках. В период эксплуатации плантации рекомендуется один раз в 2–3 года под осеннюю перепахку междурядий вносить навоз в количестве 20–30 т/га. Ежегодно при осенней или весенней обработке почвы растения подкармливают минеральными удобрениями из расчета $N_{50}P_{50}K_{50}$. Удобрения вносят ленточным способом на глубину 25–40 см. Рекомендуемые формы удобрений: сульфат аммония или аммонийная селитра, суперфосфат простой или двойной, сульфат калия или хлористый калий.

Шалфей мускатный. Лучшие почвы для шалфея черноземы выщелоченные и обыкновенные с нейтральной или слабощелочной реакцией. Почвы слабопроницаемые, заболоченные, с близким уровнем залегания грунтовых вод для него не пригодны.

Лучшими предшественниками шалфея в севообороте являются озимые зерновые культуры, кукуруза на силос, однолетние травы на зеленый корм и сено.

В силу своих биологических особенностей шалфей предъявляет определенные требования к минеральным удобрениям и их формам. Это обусловлено слабым развитием корневой системы в начальный период роста, с одной стороны, и интенсивным развитием вегетативных и репродуктивных органов в последующие фазы – с другой. Поэтому внесение удобрений должно соответствовать потребностям растений на определенных этапах органогенеза. Наилучшими формами удобрений для обеспечения шалфея азотом и фосфором являются гранулированный суперфосфат, аммонийная селитра и мочеви́на. Действие этих легкорастворимых форм удобрений на развитие корневой системы, розетки листьев и репродуктивных органов проявляется более четко, чем труднорастворимых удобрений.

Шалфей, образуя большую вегетативную массу, потребляет значительное количество элементов питания. На 100 ц соцветий шалфей выносит из почвы в среднем 9,0 кг азота, 1,9 – фосфора и 11,0 кг калия.

Удовлетворение потребности шалфея в элементах минерального питания осуществляют путем внесения удобрений. Для этих целей на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах рекомендуется вносить $N_{40}P_{60}K_{40}$. Для припосевого удобрения используется гранулированный суперфосфат в дозе P_{10} , вносимый отдельно от семян. В период вегетации растений проводят корневые подкормки азотно-фосфорными удобрениями ($N_{30}P_{30}$). В первый год вегетации подкормку проводят в фазе двух пар настоящих листьев, во второй – в начале отрастания розетки. Удобрения вносятся культиватором-растениепитателем на глубину 10–12 см на расстоянии 15 см от ряда.

Лаванда настоящая. Лучшими для размещения плантаций лаванды считаются выщелоченные черноземы, темно-серые лесные почвы. Тяжелые холодные почвы с повышенной кислотностью, с близким стоянием грунтовых вод для нее непригодны. Как многолетнее растение, произрастающее на одном месте более 20 лет, лаванду размещают на запольном участке. Под плантации отводят хорошо освещенные земельные участки на склонах южной и юго-западной экспозиции с уклоном до 10 градусов, пригодные для работ

сельскохозяйственных машин. Участок под лаванду должен быть защищен от северо-восточных и северных ветров, что благоприятствует долговечности и положительно сказывается на продуктивности культуры.

Лаванда, образуя большую вегетативную массу, потребляет значительное количество питательных веществ. С 10 ц соцветий она в среднем выносит из почвы 4,2–7,5 кг азота, 1,8–2,0 – фосфора и 6,3–8,5 кг калия.

Система удобрений лаванды включает: основное, припосадочное и подкормки плодоносящих плантаций. Основное удобрение вносят под плантаную вспашку: 35–40 т/га полуперепревшего навоза и $N_{100-120}P_{100-120}K_{40-60}$. В качестве припосадочного удобрения используют суперфосфат. Для этих целей каждый саженец при посадке поливают водой, обогащенной фосфорной кислотой. Готовят раствор следующим образом: 50 кг суперфосфата растворяют в 1000 л воды, настаивают в течение 4–5 ч при частом помешивании, затем дают отстояться до осветления и фильтруют через мешковину. Раствор заливают в баки лавандопосадочной машины, которая одновременно с посадкой вносит его из расчета 1 л на саженец. Корневые подкормки проводят ежегодно: минеральные удобрения вносят из расчета $N_{60}P_{60}K_{60}$ культиваторами-растениепитателями на глубину 14–16 см. Удобрения вносят посередине междурядья. Азотные удобрения рекомендуется вносить в почву осенью или весной, фосфорно-калийные исключительно осенью.

Базильник евгенольный. Отводимые под посадку базилика почвы должны быть плодородными. Лучше всего он растет на тучных черноземах, аллювиальных, лесных почвах с хорошей аэрацией; тяжелые, заплывающие и образующие корку почвы для этой культуры не пригодны.

Базильник следует размещать на орошаемых землях после озимых или зернобобовых культур. Его возвращение на одно и то же поле допускается не ранее чем через 10–12 лет.

Базильник за период вегетации потребляет значительное количество элементов питания из почвы. При урожае общей биомассы растений 20 т/га он выносит 110 кг азота, 22 – фосфора и 211 кг калия. Большую часть их растения поглощают в межфазный период бутонизация-техническая спелость.

В качестве основного удобрения под эту культуру применяют 30–40 т/га навоза и минеральные удобрения в дозе $N_{60}P_{60}$. В рядки при посадке рекомендуется вносить фосфорные удобрения из расчета P_{20-30} . В период вегетации растений проводят, как правило, три подкормки: первую – через 25–30 дней после посадки, т.е. перед ветвлением (N_{20}); вторую – через 15–20 дней после первой, т.е. перед бутонизацией ($N_{20}P_{20}$); третью – перед началом фазы цветения (N_{30}). Удобрения вносят непосредственно перед поливом в сухом виде в середину междурядий на глубину 10–12 см.

Хмель. Лучшими для хмеля являются черноземы, суглинистые и супесчаные слабодерново-подзолистые почвы со слабокислой реакцией почвенного раствора, обладающие высоким плодородием, хорошей структурой, легкой проницаемостью для воздуха и воды. Не пригодны для этой культуры глинистые, каменистые и заболоченные почвы.

Лучшими предшественниками для хмеля являются многолетние травы, зерновые и пропашные культуры.

Хмель предъявляет повышенные требования к наличию в почве элементов минерального питания. С урожаем шишек 10 ц он выносит из почвы 100 кг азота, 40 – фосфора, 110 кг калия, 120 кг кальция, что в 2–3 раза больше, чем выносят с 1 га зерновые культуры.

Азот оказывает наибольшее влияние на образование шишек хмеля. При его недостатке растения растут медленно, стебли и листья развиваются слабо и приобретают бледно-зеленую окраску; цветение слабое, урожай низкий; шишки бледно-желтой окраски и недоразвитые, с грубыми черешками, незначительным содержанием лупулина и слабым ароматом. Избыток азота также отрицательно влияет на рост и развитие растений: всходы получаются угнетенными, цветение и созревание затягивается, шишки образуются плохого качества – рыхлые, проросшие листьями, с незначительным содержанием лупулина. При нормальном питании растений азотом стебли и листья хмеля хорошо развиты и имеют зеленый цвет. У таких растений шишки хорошо формируются, имеют золотисто-зеленую окраску с приятным хмелевым запахом.

При недостатке фосфора корни хмеля развиваются слабо. На листьях растений появляются коричневые пятна, которые впоследствии темнеют и увеличиваются в размерах, что приводит к увяданию и подсыханию листьев. Цветение слабое, шишки образуются мелкие низкого качества.

При недостатке калия нарушается фотосинтез, по краям листьев появляются красновато-коричневые пятна. Впоследствии листья свертываются и подсыхают. Шишки образуются рыхлые, плохого качества.

Потребление хмелем элементов питания происходит неравномерно. От всходов до образования боковых ветвей потребляется относительно небольшое количество питательных веществ. В период от развития боковых ветвей до цветения растения усваивают наибольшее количество питательных веществ. С фазы цветения усвоение питательных веществ растениями снижается. При технической спелости шишек увеличивается их отток в корни растений.

Система удобрения хмеля включает основное, припосевное и подкормки. Основное удобрение вносится под плантажную вспашку (100–120 т/га навоза и $P_{200-240}K_{200-240}$). Азотные удобрения в дозе $N_{180-210}$ вносят под культивацию. Перед высадкой саженцев в одну посадочную ямку вносят 5–8 кг перепревшего навоза и 50–60 г суперфосфата. В зависимости от состояния почвы и развития хмеля в течение лета проводят 1–2 подкормки. При хорошей окультуренности почвы, обеспеченности питательными веществами и хорошим развитием растений можно применять одну подкормку ($N_{35-25}K_{20-25}$) при первом окучивании хмеля. На почвах, не достаточно окультуренных, слабообеспеченных питательными веществами, при слабом развитии растений проводят две подкормки. Вторую подкормку проводят при втором окучивании ($N_{20-30}P_{20-25}K_{20-40}$). Подкормку вносят с двух сторон рядков хмеля на расстоянии 30 см от растений растениемпитателями или же в борозды при окучивании на глубину 16–18 см с последующей заделкой.

11.5.1.4. Система удобрения в полево́м севообороте

Основы систем удобрения в Краснодарском крае разработаны А.И. Симакиным. В системах удобрения в полевых севооборотах (табл. 184–186; Система земледелия в Краснодарском крае на 1990-1995 гг. ..., 1990) показаны особенности удобрения культур в зависимости от их чередования, последствий удобрений, внесенных под предшественник. Приведенные системы удобрения являются примерными, они должны корректироваться, исходя из поставленных задач и получаемых результатов.

Таблица 184 – Примерная система удобрения в полевом 12-польном севообороте северной зоны Краснодарского края на обыкновенном черноземе

№ поля	Культура	Приемы использования удобрений					Всего д.в.
		основное	припо- севное	подкормка			
				1-я	2-я	3-я	
1	Люцерна	–	–	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀
2	Люцерна	–	–	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀
3	Озимая пшеница	N ₄₀ P ₈₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₁₀₋₁₇₀ P ₁₂₀ K ₆₀
4	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₁₀₀ K ₄₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₃₀₋₁₉₀ P ₁₂₀ K ₄₀
5	Подсолнечник	N ₄₀ P ₆₀	–	–	–	–	N ₄₀ P ₆₀
6	Пар черный	Навоз 60 т/га +P ₈₀ K ₄₀	–	–	–	–	Навоз 60 т/га +P ₈₀ K ₄₀
7	Озимая пшеница	–	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₇₀₋₁₃₀ P ₂₀
8	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₈₀ K ₄₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₃₀₋₁₉₀ P ₁₀₀ K ₄₀
9	Сахарная свекла	N ₁₃₀ P ₁₄₀ K ₁₃₀	P ₂₀	–	–	–	N ₁₃₀ P ₁₆₀ K ₁₃₀
10	Кукуруза на зерно	Навоз 40 т/га	P ₂₀	N ₃₀	–	–	Навоз 40 т/га +N ₃₀ P ₂₀
	Кукуруза на силос	Навоз 40 т/га	P ₂₀	–	–	N ₄₀	Навоз 40 т/га +N ₄₀ P ₂₀
11	Озимая пшеница	N ₄₀ P ₈₀ K ₄₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₁₀₋₁₇₀ P ₁₀₀ K ₄₀
12	Яровой ячмень с подсевом люцерны	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	–	–	–	–	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀

Таблица 185 – Примерная система удобрения в полевом 11-польном севообороте центральной зоны Краснодарского края на типичном и выщелоченном черноземах

№ поля	Культура	Приемы использования удобрений					Всего д.в.
		основное	припо- севное	подкормка			
				1-я	2-я	3-я	
1	Люцерна	–	–	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀
2	Люцерна	–	–	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀
3	Озимая пшеница	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₀₀₋₁₇₀ P ₈₀ K ₆₀
4	Озимый ячмень	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	–	–	N ₁₀₀ P ₈₀ K ₆₀
5	Подсолнечник	Навоз 40 т/га	–	–	–	–	Навоз 40 т/га
6	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₃₀₋₁₉₀ P ₈₀ K ₄₀
7	Кукуруза на силос	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	P ₂₀	–	–	N ₄₀	N ₁₀₀ P ₈₀ K ₆₀
8	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₃₀₋₁₉₀ P ₈₀ K ₆₀
9	Сахарная свекла	Навоз 50 т/га +N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	–	–	–	–	Навоз 50 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
10	Кукуруза на зерно	N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	–	N ₃₀	–	–	N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀
11	Озимая пшеница с подсевом люцерны	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₃₀	–	N ₃₀	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀

Таблица 186 – Примерная система удобрения в полевом 11-польном севообороте южно-предгорной зоны Краснодарского края на выщелоченном слитом черноземе, серых лесных, лесостепных почвах

№ поля	Культура	Приемы использования удобрений					Всего д.в.
		основное	припосевное	подкормка			
				1-я	2-я	3-я	
1	Люцерна	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	–	–	–	–	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀
2	Люцерна	–	–	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀
3	Озимая пшеница	N ₄₀ P ₈₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₁₀₋₁₇₀ P ₁₀₀ K ₆₀
4	Озимая пшеница	N ₄₀ P ₈₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₁₀₋₁₇₀ P ₁₀₀ K ₆₀
5	Овощные культуры	Навоз 40 т/га + P ₄₀ K ₁₀	N ₃₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₃₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₃₀ P ₁₀ K ₁₀	–	Навоз 40 т/га +N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
6	Горох	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	–	–	–	–	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀
7	Озимая пшеница	N ₄₀ P ₈₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₁₀₋₁₇₀ P ₁₀₀ K ₆₀
8	Подсолнечник	Навоз 50 т/га	–	–	–	–	Навоз 50 т/га
9	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₃₀₋₁₉₀ P ₈₀ K ₄₀
10	Кукуруза на силос	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	–	N ₄₀	N ₁₄₀ P ₈₀ K ₆₀
	Кукуруза на зерно	N ₆₀ P ₈₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	–	–	N ₁₀₀ P ₈₀ K ₆₀
11	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₈₀ K ₆₀	P ₂₀	N ₄₀	N ₀₋₆₀	N ₃₀	N ₁₃₀₋₁₉₀ P ₁₀₀ K ₆₀

11.5.2. Питание и система удобрения риса

Рис – важнейшая крупяная культура, требовательная к пищевому режиму почв. Основные площади его посевов в Российской Федерации сосредоточены на Кубани. На формирование 1 т зерна и соответствующего количества соломы растения риса потребляют 20,8 кг азота, 12,4 – фосфора, 21,5 – калия, 3,3 магния, 2,6 – кальция, 0,4 кг железа, 159,2 г марганца, 39,6 – цинка, 7,8 – меди, 3,8 – бора, 0,8 – молибдена и 0,7 г кобальта. Эти элементы питания рис усваивает на протяжении всего вегетационного периода, хотя их поступление в растения неравномерно. В период от прорастания семян до формирования 3–4-х листьев поглощается очень незначительное количество питательных элементов. В это время корневая система еще слабо развита и молодые растения очень требовательны к наличию в почве легкоусвояемых форм питательных веществ. Недостаток их приводит к необратимому нарушению биохимических процессов в растении, что отрицательно отражается на их развитии и формировании урожая. В связи с этим всходы-начало фазы кушения растений считается для риса критическим периодом по отношению к элементам минерального питания.

С наступлением фазы кушения потребность риса в элементах питания резко возрастает. Максимальное их поступление в растения приходится на период кушения-выметывания. При достижении фазы молочно-восковой спелости зерна поступление элементов питания в растения из почвы практически прекращается.

Для создания оптимальных условий роста и развития растений необходимо обеспечить сбалансированное питание риса всеми элементами питания. Это достигается применением макро- и микроудобрений с учетом сортовых особенностей, предшественника, технологии выращивания и почвенно-климатических условий.

Азотные удобрения. Из минеральных удобрений, вносимых под рис, ведущая роль в повышении урожайности культуры принадлежит азотным удобрениям. Они обеспечивают 80–90 % прибавки урожая, получаемой от применения удобрений.

Азот из удобрений в течение нескольких часов поступает в растения и включается в состав белков. Эффективное действие азотных удобрений продолжается в течение 10–15 дней, поэтому под рис их применяют дробно. За 2–3 дня перед посевом вносят 25 % от нормы. Этого достаточно для создания в почве доминирования фосфора над азотом, что создает благоприятные условия для питания проростков риса. В результате возникают благоприятные условия для получения дружных всходов. Кроме того, уменьшаются потери азота из-за денитрификации при просушке почвы и выноса со сбросными и фильтрационными водами. Потребность риса в азоте резко возрастает при переходе растений к кущению, что совпадает с появлением 3–4 листа. Для стимулирования процесса кущения и улучшения условий для закладки конуса нарастания в этот период необходимо внести 50 % от нормы азотных удобрений. Более раннее применение азота неэффективно, т. к. до этого времени хватает основного удобрения. При запаздывании с подкормкой появляется значительное количество непродуктивных побегов. Для формирования продуктивного стеблестоя, повышения озерненности и выполненности зерновок в возрасте 7–9 листьев, т.е. к началу фазы трубкования растений, необходимо внести оставшиеся 25 % от нормы азота. Такая схема внесения азотных удобрений наиболее полно соответствует физиологическим потребностям риса, существенно снижает непроизводительные потери азота и загрязнение окружающей среды нитратами и нитритами. Лучшими формами удобрений являются сульфат аммония и карбамид.

Норму азота рассчитывают с учетом планируемой урожайности, нормативного расхода азота на формирование 1 ц зерна и поправочного коэффициента на агрохимические свойства почвы по формуле (Шеуджен А.Х., 1996)

$$O_N = U_{\text{п}} \cdot H \cdot K,$$

где: O_N – норма азота, кг/га;
 $U_{\text{п}}$ – планируемая урожайность, ц/га;
 H – нормативный расход азота на формирование 1 ц зерна (составляет 2,08 кг в условиях Кубани);
 K – поправочный коэффициент на предшественник: пласт многолетних трав – 1,1, оборот пласта многолетних трав – 1,3; пар – 1,2.

Фосфорные удобрения. Фосфор способствует хорошему развитию корневой системы, усиливает использование растением элементов минерального питания из почвы и удобрений, ускоряет закладку репродуктивных органов. При применении фосфорных удобрений под рис необходимо учитывать не только потребность растений в фосфоре и специфику превращений фосфорных соединений в почвах рисовых полей, но и количество внесенного азота. В хорошо аэрированной почве содержание подвижных фосфатов, как правило, невысокое. После затопления, в результате нарастания восстановительных процессов, фосфаты слаборастворимого окисного железа переходят в форму хорошо растворимого закисного железа, и содержание подвижного фосфора в почве значительно возрастает, что повышает обеспеченность риса этим элементом. Разное содержание подвижных фосфатов в почве до и после затопления определяет достаточно высокую эффективность фосфорных удобрений при внесении их до посева риса, и слабую – при применении в виде подкормок в фазы кущения и трубкования растений, хотя максимальное поглощение фосфора приходится именно в этот период.

Почвы зоны рисосеяния Кубани по содержанию подвижного фосфора разделены на четыре группы (табл. 187; Шеуджен А.Х., 1996). На почвах с низкой и средней обеспеченностью подвижным фосфором отзывчивость риса на фосфорные удобрения высокая, с повышенной – слабая.

Таблица 187 – Группировка почв зоны рисосеяния Кубани по содержанию подвижных форм фосфора, мг/кг почвы

Обеспеченность	Содержание фосфора в почве при определении по:				Поправочный коэффициент к нормам удобрений для учета агрохимических свойств почвы
	Труогу	Чирикову	Мачигину	Аррениусу	
Низкая	<40	<25	<15	<75	1,50
Средняя	40–80	25–50	15–30	75–150	1,00
Повышенная	81–120	51–75	31–45	151–175	0,50
Высокая	>120	>75	>45	>175	0,00

Норму фосфорных удобрений рассчитывают по предложенной нами формуле (Шеуджен А.Х., 1996):

$$O_p = 2/3 \cdot D_N \cdot K,$$

где: O_p – норма фосфора, кг/га;
 D_N – норма азота, кг/га;
 K – поправочный коэффициент, отражающий содержание подвижного фосфора в почве (приведен в табл. 185).

Фосфорные удобрения под рис целесообразно вносить за один прием до посева сплошным способом или локально вместе с семенами, в последнем случае рекомендуется дозу фосфора уменьшить на 50 %.

Калийные удобрения. Калий является третьим по значимости элементом питания риса, содержание которого в почве необходимо регулировать путем внесения калийных удобрений. Калий поступает в растения непрерывно в течение всего периода вегетации. Он способствует активному поглощению кислорода молодыми растениями, участвует в формировании конуса нарастания, а следовательно, повышает озерненность метелки. Калий, внесенный в подкормку перед цветением, способствует перераспределению питательных веществ в органах растений и их интенсивному оттоку в метелку, что и определяет его влияние на массу зерновок риса. Норма калийных удобрений под рис зависит от содержания в почве обменного калия и количества внесенного азота.

Почвы зоны рисосеяния Кубани по содержанию обменного калия разделены на четыре группы: с низкой, средней, повышенной и высокой обеспеченностью (табл. 188; Шеуджен А.Х., 1996).

Таблица 188 – Группировка почв зоны рисосеяния Кубани по содержанию обменного калия, мг/кг почвы

Обеспеченность	Содержание калия в почве при определении по:			Поправочный коэффициент к нормам удобрений для учета агрохимических свойств почвы
	Чирикову	Масловой	Мачигину	
Низкая	<100	<150	<300	1,50
Средняя	100–150	150–250	300–500	1,00
Повышенная	151–200	251–300	501–600	0,75
Высокая	>200	>300	>600	0,00

На почвах с низкой и средней обеспеченностью обменным калием отзывчивость риса на калийные удобрения высокая, с повышенной – слабая.

Норму калийного удобрения рассчитывают по формуле (Шеуджен А.Х., 1996):

$$O_K = 1/2 D_N \cdot K,$$

где: O_K – норма калия, кг/га;

D_N – норма азота, кг/га;

K – поправочный коэффициент, отражающий содержание обменного калия в почве (приведен в табл. 186).

Калийные удобрения дают наибольший эффект при внесении их в два срока: одну половину нормы до посева, а вторую – в виде подкормки в фазу трубкования.

Примерная система удобрения риса в восьмипольном рисовом севообороте представлена в таблице 189 (Джулай А.П., Алешин Е.П., Величко Е.Б., 1980).

Таблица 189 – Примерная система удобрения в восьмипольном рисовом севообороте.

Культура	Основное удобрение	Подкормка	Всего
На лугово-черноземных, луговых и аллювиально-луговых почвах			
Люцерна	$N_{40}P_{90}K_{40}$	–	$N_{40}P_{90}K_{40}$
Люцерна	–	$N_{40}P_{60}K_{60}$	$N_{40}P_{60}K_{40}$
Рис	$N_{60}P_{90}K_{60}$	$N_{30}P_{30}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$
Рис	$N_{90}P_{90}K_{60}$	$N_{30}P_{30}$	$N_{120}P_{90}K_{90}$
Рис	$N_{100}P_{120}K_{90}$	N_{50}	$N_{150}P_{120}K_{90}$
Занятый пар	$N_{90}P_{90}K_{60}$	N_{30}	$N_{120}P_{90}K_{60}$
Рис	$N_{100}P_{120}K_{90}$	N_{50}	$N_{150}P_{120}K_{90}$
Рис	$N_{120}P_{120}K_{60}$	$N_{60}K_{30}$	$N_{180}P_{120}K_{90}$
На лугово-болотных почвах			
Люцерна	$N_{45}P_{60}$	–	$N_{45}P_{60}$
Люцерна	–	$N_{45}P_{60}K_{30}$	$N_{45}P_{60}K_{30}$
Рис	$N_{90}P_{90}K_{60}$	N_{30}	$N_{120}P_{90}K_{60}$
Рис	$N_{100}P_{90}K_{60}$	N_{50}	$N_{150}P_{90}K_{60}$
Рис	$N_{120}P_{90}K_{60}$	$N_{60}K_{30}$	$N_{180}P_{90}K_{90}$
Занятый пар	$N_{60}P_{60}K_{60}$	N_{30}	$N_{90}P_{60}K_{60}$
Рис	$N_{100}P_{120}$	N_{50}	$N_{150}P_{120}K_{90}$
Рис	$N_{120}P_{120}K_{60}$	$N_{60}K_{30}$	$N_{180}P_{120}K_{90}$

Микроудобрения. Микроэлементы способствуют более эффективному использованию рисом минеральных удобрений, повышению устойчивости растений риса к вредителям и болезням, засолению почвы и пониженным температурам воздуха.

Эффективность микроудобрений определяется содержанием в почве подвижных форм микроэлементов. По обеспеченности подвижными формами микроэлементов почвы зоны рисосеяния Кубани разделены на три группы: низкая, средняя, высокая (табл. 190; Шеуджен А.Х., 1992).

Микроудобрения применяют путем внесения непосредственно в почву, предпосевной обработки семян и некорневой подкормки растений. Внесение микроудобрений в почву наиболее целесообразно при низкой обеспеченности ее подвижными формами микроэлементов. При этом бор, кобальт и молибден

вносятся в количестве 2 кг/га, медь – 3, марганец и цинк – 4 кг/га. На средне-обеспеченных микроэлементами почвах эти нормы уменьшаются на 50 %. Микроудобрения вносятся в почву перед посевом риса одновременно с основными минеральными удобрениями.

Таблица 190 – Группировка почв зоны рисосеяния Кубани по содержанию подвижных форм микроэлементов (экстрагенты по Пейве–Ринькису)

Обеспеченность	Содержание микроэлементов, мг/кг					
	B	Co	Mo	Zn	Mn	Cu
Низкая	<0,5	<0,5	<0,15	<1,0	<35	<4,5
Средняя	0,5–1,0	0,5–1,5	0,15–0,25	1,0–2,0	35–75	4,5–6,5
Высокая	>1,0	>1,5	>0,25	>2,0	>75	>6,5

Наиболее эффективным способом применения микроудобрений под рис является обработка семян. Она необходима при пониженном содержании микроэлементов в посевном материале: бора < 1,9 мг/кг, кобальта < 0,3, молибдена < 0,5, цинка < 28,6, марганца < 36,4, меди < 5,5 мг/кг (табл. 191; Шеуджен А.Х., 1992). Обработку посевного материала проводят одним, наиболее дефицитным в семенах микроэлементом. Доказано, что это эффективнее обработки смесью микроэлементов. Обработку семян выполняют полусухим способом 0,5 % водными растворами бора, кобальта, молибдена, меди и 1 % – марганца, цинка одновременно с протравливанием их ядохимикатами.

Таблица 191 – Содержание микроэлементов в семенах риса и ожидаемая эффективность их предпосевной обработки микроудобрениями

Обеспеченность семян	Содержание микроэлемента, мг/кг						Ожидаемая эффективность
	B	Co	Mo	Zn	Mn	Cu	
Низкая	<1,9	<0,2	<0,3	<19	<2,6	<3,3	Высокая
Средняя	1,9–2,6	0,2–0,3	0,3–0,5	19–28	2,6–4,2	3,3–5,6	Средняя
Высокая	>2,6	>0,3	>0,5	>28	>4,2	>5,6	Низкая

Проведению некорневой подкормки посевов риса микроудобрениями должна предшествовать растительная диагностика. Некорневую подкормку следует назначать в фазе кущения растений, если в листьях содержится бора < 3,45 мг/кг, кобальта < 1,1, молибдена < 0,65, цинка < 36, марганца < 270, меди < 8 мг/кг сухой массы. В этом случае некорневую подкормку растений проводят 0,1 % водным раствором микроэлемента, находящегося в минимуме, из расчета 300 л/га при использовании наземной аппаратуры.

11.5.3. Питание и удобрение прядильных культур

Лен-долгунец. Лучшими почвами для льна являются слабоподзоленные структурные легкие суглинки. Легкие почвы – супесчаные и песчаные – для льна мало пригодны. Лен плохо удается также на тяжелых связных глинистых почвах, которые образуют после дождя плотную корку, препятствующую выходу на поверхность нежным проросткам. Не рекомендуют сеять лен и на кислых торфянистых, а также переизвесткованных почвах, где он дает хрупкое и грубое волокно.

В севообороте лен размещают после многолетних и однолетних трав, зерновых и пропашных культур.

Лен очень требователен к пищевому режиму почв. Он характеризуется слабо развитой корневой системой и имеет очень короткий (до 30 дней) период максимального потребления (период быстрого роста) питательных веществ (конец фазы "елочка" – цветение). На 10 ц волокна (с учетом побочной продукции – семена и полова) лен выносит 70–80 кг азота, 30–40 кг фосфора и 70–100 кг калия.

Основные посевы этой культуры размещаются в Нечерноземной зоне на дерново-подзолистых почвах. Лен отличается слабой усвояющей способностью корневой системы, которая располагается в основном в пахотном слое. Лен плохо использует труднорастворимые соединения, чувствителен к содержанию подвижного алюминия, повышенной концентрации почвенного раствора. Критический период потребности в фосфоре приходится на период от всходов до фазы "елочки", в азоте – от фазы "елочки" до бутонизации, в калии – в фазе "елочки".

К началу бутонизации растения поглощают 50–60 % азота, 40–50 – фосфора и 70–75 % калия; от начала бутонизации до конца цветения – 40–50 % азота, 40 – фосфора и 25–30 % калия. Поступление азота и калия заканчивается к концу фазы цветения, а фосфора к этому времени поглощено 80–90 % от максимального потребления.

Хорошие урожаи дает лен при размещении по пласту и обороту пласта многолетних трав. Органические удобрения вносят в занятом пару, под пропашные или под озимые культуры. Непосредственно под лен навоз не вносят или вносят хорошо разложившийся, если он высевается не по многолетним травам.

Средняя норма минеральных удобрений $N_{40}P_{60}K_{60}$. Фосфорно-калийные удобрения вносят осенью под зяблевую вспашку; азотные – весной под перепахку или культивацию. При посеве вносят P_{5-10} . Если до посева не внесли достаточно азота, то по данным растительной диагностики в фазе "елочки" проводят подкормку. Следует иметь в виду, что избыток азотного питания снижает крепость и выход длинного волокна. Фосфорно-калийные удобрения, наоборот, повышают качество волокна.

Конопля. Высокие урожаи конопля дает на плодородных почвах с реакцией, близкой к нейтральной (рН 7,1–7,4). Лучшими для нее считаются черноземные почвы, а также почвы речных долин и осушенные торфяники. Коноплю можно высевать также на хорошо удобренных темно-серых и светло-серых лесных почвах.

В севообороте коноплю следует размещать после озимых зерновых и зернобобовых культур, картофеля и корнеплодов. Желательно не сеять коноплю по конопле, хотя и допускаются повторные посевы по сорной траве и на участках, засоренных корневыми сорняками.

Конопля очень требовательна к пищевому режиму почвы. На каждые 100 ц/га общей массы конопля выносит 170 кг азота, 55 – фосфора и 100 кг калия. Высокая требовательность этой культуры к элементам питания связана с коротким периодом их усвоения. Во время интенсивного роста, от начала бутонизации до цветения, образуется около 75 % ее органической массы и поглощается до 75 % азота, фосфора и калия от максимального содержания их в урожае.

Наиболее быстро поступает в растения азот, затем калий; их усвоение практически завершается в фазе цветения конопля. Фосфор в течение вегетации поглощается более равномерно, но потребность в нем возрастает в период цветения – образование семян.

Конопля весьма отзывчива на органические и минеральные удобрения. Дозы минеральных удобрений составляют $N_{45-60}P_{45-60}K_{45-60}$. Обязательным является внесение 20 т/га навоза. Навоз, азотное, калийное и большую часть фосфорного удобрений вносят осенью под вспашку. Для интенсивного роста конопли в начале вегетации большое значение имеет рядковое удобрение. В рядки при посеве вносят 60–80 кг гранулированного суперфосфата.

Хлопчатник. Для возделывания хлопчатника пригодны почвы от супесчаных до глинистых, но лучше всего для него легкие суглинистые разновидности как в орошаемых, так и в богарных условиях. Тяжелые глинистые почвы менее благоприятны, хотя на них тоже можно получать высокие урожаи, но при сравнительно больших затратах на обработку. Супесчаные почвы менее пригодны, чем легкие суглинистые, т. к. вследствие их малой влагоемкости и большой воздухо- и водопроницаемости они очень быстро просыхают. Сероземы и луговые почвы – одни из лучших для хлопчатника.

Почвенно-климатические условия Северного Кавказа пригодны для возделывания хлопчатника. Первые полевые опыты были проведены на Кубани в самом начале XX в.

Хлопчатник возделывают в хлопковых севооборотах. Лучший предшественник – люцерна. Она улучшает свойства почвы: накапливает азот и угнетает возбудителей вилта хлопчатника.

Хлопчатник – одно из наиболее требовательных к минеральному питанию растений. На 1 т хлопка-сырца и соответствующее количество вегетативной массы растения потребляют в среднем 50 кг азота, 15 – фосфора и 50 кг калия. Вынос элементов питания хлопчатником зависит от уровня урожая и его структуры. При высоких урожаях порядка 45–50 ц/га и более соотношение между вегетативными и репродуктивными органами бывает более благоприятным и потребление питательных элементов на 1 т хлопка-сырца меньше, чем при относительно низких урожаях.

Критическим в отношении потребления азота и фосфора является период образования 4–5 листьев. Потребление элементов питания хлопчатником в течение вегетации растянуто. От начала бутонизации до массового цветения растения потребляют 25–30 % азота и 15–20 % фосфора и калия. Наибольшая часть элементов питания потребляется от цветения до массового созревания — 65–70 % азота, 75–80 % фосфора и калия. Для получения высокого урожая хлопка-сырца необходимо обеспечить достаточный уровень питания после цветения.

Хлопчатник в основном выращивается на сероземно-луговых и лугово-болотных почвах, которые содержат небольшое количество гумуса (1–4 %) и недостаточно обеспечены фосфором. Часто для получения высоких урожаев недостаточно и калия. Значительная часть почв, занимаемых хлопчатником, подвержена засолению.

Хлопчатник обычно возделывается в хлопково-люцерновых севооборотах, в которых 2–3 поля заняты люцерной и 5–9 полей – хлопчатником. Под люцерной почвы существенно обогащаются азотом, и при внесении высоких норм фосфорных и калийных удобрений обеспечивается получение высоких урожаев хлопка-сырца. Для люцерны, как бобовой культуры, наибольшее значение имеют фосфорные удобрения.

Органические удобрения под хлопчатник вносят обычно на 4–5 й год возделывания его после люцерны в норме 20–40 т/га под зяблевую вспашку. Если применяются промывные поливы, то навоз вносят весной. Эффективны также сидеральные удобрения, для которых используются промежуточные культуры.

При выращивании хлопчатника по пласту и обороту пласта люцерны, нормы азотных удобрений меньше, чем при выращивании в последующие годы: чем дальше хлопчатник в севообороте от люцерны, тем выше нормы азотных удобрений, больше потребность в калийных удобрениях и меньше – в фосфорных. Наибольшие нормы азотных удобрений – 300 кг/га д.в. Нормы азотных удобрений устанавливаются по содержанию минерального азота в почве. Азотные удобрения вносят в несколько сроков – до посева, при посеве и в 2–3 подкормки. При норме до N_{100} удобрения вносят в подкормки. При более высоких нормах вносят: N_{30-70} до посева, N_{10-20} при посеве, N_{30-50} в фазе 2–4 листьев, N_{30-75} в начале бутонизации, N_{30-75} в начале цветения. Используются аммонийные и амидные удобрения. Нормы фосфорных удобрений устанавливаются по содержанию подвижного фосфора в почве. При норме азота N_{200} и повышенном или высоком содержании фосфора вносят P_{50} , при среднем – P_{100} , низком – P_{150} . При посеве вносят P_{20-40} .

При очень низком содержании подвижного калия вносят K_{100} , при более высоком – K_{50} . При нормах калийных удобрений до K_{50} их вносят в подкормку в фазе бутонизации.

11.5.4. Питание и удобрение кормовых культур

При удобрении кормовых культур важно не только повысить урожайность, но и получить корма хорошего качества. Содержание белка, каротина, витаминов, минеральных веществ можно повысить применением рациональных доз и сроков внесения удобрений.

11.5.4.1. Удобрение кормовых культур в полевых севооборотах

Посевы кукурузы силосной и зерновой, а также гороха и большая часть многолетних трав размещаются в полевых севооборотах. Многолетние травы высеваются также в овощных и рисовых севооборотах. Культуры зеленого конвейера размещаются в прифермских севооборотах.

Люцерна. Лучше всего люцерна растет на хорошо воздухо- и водопроницаемых рыхлых черноземах, каштановых и бурых почвах, на сероземах, темносерых лесостепных суглинках, на супесях с плодородной подпочвой.

Она плохо удаётся при высоком уровне стояния грунтовых вод, а также на заболоченных и дерново-подзолистых с неглубоким пахотным горизонтом, каменистых и хрящеватых почвах. Люцерна не переносит высокой кислотности почвы; при pH 5 клубеньки почти не развиваются, а в единичных клубеньках бактерии практически не фиксируют азот из воздуха. Хорошо растет при pH 6,5–7,0. Положительная особенность люцерны – ее солевыносливость и способность рассаливать почвы, предупреждая вторичное засоление, что важно при возделывании ее в орошаемых севооборотах.

Лучшие предшественники под люцерну – пропашные культуры: картофель, кукуруза, бахчевые, а также озимая пшеница по пару. В засушливых районах посевы люцерны желательно размещать в выводных клиньях, где высокое плодородие сочетается с близким стоянием грунтовых вод.

Люцерна потребляет из почвы большое количество питательных веществ. На образование 1 т сухой массы она потребляет в среднем 26 кг азота, 6,5 – фосфора, 16 – калия, 15 – кальция и 3 кг серы.

Система удобрения люцерны определяется биологическими особенностями культуры, величиной планируемых урожаев, разновидностью почвы и обеспеченностью люцерны питательными веществами, агрономическим фо-

ном возделывания, результатами полевых опытов по внесению удобрений. Главная особенность люцерны – циклический характер ее роста и развития, то есть в течение всего вегетационного периода у нее отрастают и развиваются побеги, и это происходит в продолжение 2–3 лет. Одной из особенностей этой культуры является и то, что часть зольных элементов питания она усваивает из труднорастворимых соединений нижних почвенных горизонтов с помощью глубокопроникающей и обладающей хорошей способностью растворять эти соединения корневой системы. Необходимо также отметить и то, что большую часть необходимого азота она получает из атмосферы с помощью живущих с ней в симбиозе специфических штаммов клубеньковых бактерий. Люцерна ежегодно связывает на различных почвах следующее количество азота: обыкновенный чернозем – 140–170 кг/га, выщелоченный чернозем – 220–270 кг/га, серая лесная почва – 150–250 кг/га.

Несмотря на указанные биологические особенности, люцерна очень отзывчива на внесение удобрений. Перед вспашкой в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения вносят $P_{60}K_{60}$, в зоне достаточного увлажнения $P_{90}K_{60}$. Азотные удобрения вносят под предпосевную культивацию в дозе N_{30-40} , при посеве P_{10} . После уборки покровной культуры проводят азотную подкормку N_{30} . На второй год посева подкармливают рано весной N_{30} , целесообразно внести ЖКУ 200 кг/га с последующим боронованием. При орошении в полевых севооборотах дозу удобрений увеличивают в 1,5–2 раза.

Эспарцет. Хорошо растет на рыхлых карбонатных почвах. Для него непригодны засоленные и кислые почвы с избыточным увлажнением.

Предшественниками эспарцета могут быть озимые зерновые культуры по пару или пропашные – картофель, кукуруза. В полевом севообороте эспарцет можно высевать и как парозанимающую культуру без злакового компонента с однолетним использованием.

Эспарцет имеет хорошо развитую стержневую корневую систему, проникающую в почву на 1,5–2 м, обладающую высокой растворяющей способностью к фосфатам. Другая особенность – на корнях эспарцета образуются клубеньки, которые накапливают более 100–200 кг/га азота. Несмотря на указанные биологические особенности культуры, внесение удобрений положительно сказывается на урожае сена.

На 1 т сена эспарцет потребляет из почвы 6–7 кг фосфора, 18–20 кг калия, 11–12 кг кальция, 1,5–1,7 кг магния.

Перед посевом семена необходимо обработать нитрагином или 0,5 % водным раствором молибдена.

Под предшественник вносят навоз 40–60 т/га, непосредственно под эспарцет $N_{60}P_{60}K_{60}$. Практикуется припосевное рядковое внесение суперфосфата (P_{10-15})

Клевер. Хорошо удается клевер на дерново-подзолистых, серых лесных и каштановых почвах. Он не переносит кислых и сильно засоленных почв. При рН почвенного раствора ниже 4,5 он, как правило, выпадает. Неустойчивы посевы клевера на супесчаных почвах с песчаной подпочвой.

Лучшие предшественники для клевера в севообороте – зерновые, зернобобовые, пропашные культуры.

Сам клевер – ценный предшественник для большинства культур полевого севооборота, особенно для льна. Сеять клевер несколько лет подряд на одном и том же поле не рекомендуется, так как это вызывает клевероутомление почвы.

В процессе роста клевер потребляет большое количество питательных веществ. На формирование 1 т сена он выносит из почвы 5–6 кг фосфора, 16–17

– калия, 15–17 – кальция, 5,0–5,5 – магния и 1,5 кг серы. Клевер с урожаем выносит много азота, но в отличие от небобовых растений он способен с помощью клубеньковых бактерий усваивать этот элемент из атмосферного воздуха. Поэтому формирование урожая клевера в значительной мере зависит как от содержания необходимых питательных веществ в почве, так и от азотфиксирующей деятельности клубеньковых бактерий. На величину урожая надземной массы влияет уровень естественного плодородия почвы, а также действие и последствие удобрений, вносимых в севообороте под предшествующие, покровные культуры и непосредственно под клевер.

Клевер отзывчив на удобрения. Под вспашку или культивацию зяби вносят $P_{60-90}K_{60-90}$. Азот в дозе N_{30-45} вносят весной под покровную культуру. На второй год жизни клевера проводят подкормку $N_{25-30}P_{40}K_{40}$.

Кукуруза. Система удобрения этой культуры изложена в группе зерновых культур. На зеленый корм и силос такая же система удобрения, как при возделывании кукурузы на зерно, но норма азота может быть несколько увеличена. При возделывании кукурузы на силос почва быстрее истощается калием. Связано это с тем, что кукуруза убирается в период максимального содержания этого элемента в растении.

11.5.4.2. Удобрение кормовых культур в кормовых севооборотах

Распределение удобрений в прифермских кормовых севооборотах проводится по тем же принципам, что и в полевых. Основным средством повышения плодородия почв в кормовых севооборотах является возделывание многолетних бобовых трав и более интенсивное применение органических удобрений. Навоз выгоднее вывозить на прифермские поля, так как это сокращает затраты на его транспортировку в поле.

Суданская трава. Эта культура не предъявляет особых требований к почвам. Она хорошо растет на темно-каштановых и всех видах черноземных почв, пойменных землях и осушенных торфяниках. На почвах с невысокой кислотностью суданская трава дает удовлетворительные урожаи. Вместе с тем она может переносить небольшую засоленность почв. Хуже растет на почвах, бедных органическими веществами, сильно щелочных, солонцеватых, уплотненных.

Суданская трава малотребовательна к предшественникам, однако наилучшими считаются зерновые, зернобобовые, озимые, пропашные культуры. Желательно размещать ее в последнем поле севооборота, так как она плохой предшественник для других культур.

Рапс озимый. Отзывчив на уровень обеспеченности почвы питательными элементами. На формирование 100 ц зеленой массы растения потребляют 40–50 кг азота, 15–20 – фосфора, 60–70 – калия и 20–30 кг кальция. При урожаях зеленой массы больше 200 ц/га необходимы удобрения. Под рапс эффективно внесение азотных удобрений под вспашку, при посеве и в подкормку. Азотные удобрения вносят из расчета N_{90-120} в два срока: осенью 30–40 кг/га, весной – 60–80 кг/га. Фосфорные и калийные удобрения под рапс озимый вносят из расчета $P_{60-90}K_{60}$ осенью перед посевом.

Свекла кормовая. При урожае корнеплодов 400 ц/га и 100 ц/га ботвы она потребляет 106 кг азота, 36 – фосфора, 193 – калия и 28 кг кальция. По сравнению с зерновыми культурами свекла кормовая при средних урожаях потребляет в 1,5 раза больше азота и почти в 3 раза больше калия. По выносу фосфора она мало отличается от них. Потребление азота растениями свеклы начинается с первых дней вегетации и продолжается до конца ее. Наиболь-

шую же потребность в азоте растения испытывают в первой половине вегетации, и особенно в период максимального роста корнеплода и листьев, что в условиях Кубани приходится на конец июня–июль. Поглощение фосфора растениями начинается с прорастания семян и продолжается до уборки свеклы. В больших количествах он потребляется во второй половине вегетации. Калий поступает в растения на протяжении всей вегетации, но больше – во вторую половину. Под свеклу кормовую вносят 40–60 т/га навоза, минеральные удобрения из расчета $N_{60-120}P_{60-120}K_{60-120}$ ($N_{40-80}P_{50-110}K_{60-120}$ под зяблевую вспашку, P_{10} при посеве и N_{40} в подкормку при культивации). Нельзя односторонне применять высокие нормы азотных удобрений, во избежание избыточного накопления нитратов в корнеплодах.

Тыква кормовая. Прекрасный корм для скота; ботва не имеет особой ценности, в чистом виде она не силосуется, но в смеси с другой растительной массой может быть использована для силосования. На корм скоту обычно идут свежие плоды. Они считаются ценным молокогонным кормом. В 100 кг кормовой тыквы содержится 10 кормовых единиц и 700 г переваримого протеина. По питательности кормовая тыква мало уступает корнеплодам. Она богата каротином и аскорбиновой кислотой.

Кормовая тыква отзывчива на удобрения. Особенно эффективно внесение навоза (40–60 т/га) и полного минерального удобрения ($N_{40-60}P_{40-60}K_{40-60}$).

Рожь озимая. В кормовых севооборотах отзывчива на удобрения. Эффективно внесение 45 т/га навоза или $N_{45}P_{45}$.

Вико-пшеничные смеси. Осенью вносят фосфорно-калийные удобрения из расчета $P_{50}K_{50}$, весной проводят азотную подкормку N_{50} .

Вико-овсяные, горохо-овсяные смеси. Удобрения вносят осенью из расчета $N_{60}P_{60}$.

Повторные посеы культур. Минеральные удобрения применяют из расчета $N_{30-50}P_{30-50}$.

Многокомпонентная смесь (суданская трава, сорго сахарное, подсолнечник, кукуруза, соя). Вносят 80–100 т/га навоза под предшествующую культуру или непосредственно под смесь 30–40 т/га навоза и $N_{60}P_{60}$. При выращивании на орошаемых полях в период вегетации эффективны 1–2 азотные подкормки N_{30} .

11.5.5. Удобрение сенокосов и пастбищ

Удобрения в луговодстве обеспечивают не только увеличение поступления зеленой массы в летние месяцы сезона, удлинение сроков кормления животных свежим зеленым кормом, но и превращают малоценные луга в травостой высокого кормового достоинства. Одновременно при внесении удобрений улучшается плодородие почвы за счет возможности использования биологического азота и стимуляции деятельности микрофлоры вследствие ускорения процессов минерализации органических остатков.

При оценке действия удобрений в луговодстве как в год их внесения, так и в последующие годы необходимо учитывать, что растительность сенокосов и пастбищ представлена преимущественно многолетними травами, отличающимися мощной корневой системой и способностью к вегетативному возобновлению. Виды и нормы вносимых удобрений должны стимулировать развитие наиболее хозяйственно-ценных растений. Необходимо учитывать при выборе удобрений сроки и формы их внесения и осуществлять многократное внесение легкорастворимых форм удобрений, обеспечивающих быстрое нарастание вегетативной массы.

Луговые травы хорошо произрастают и дают высокие урожаи в интервале реакции почвенного раствора (рН), равном 6,5–8,0. Для клевера красного оптимальное значение рН 5,6–6,5; клевера белого – 5,5–6,5; люцерны синей – 7,5–8,0; злаковых – 5,5–5,9. На кислых почвах в травостое ценные кормовые травы вытесняются дикорастущими травами, лучше приспособленными к условиям кислых почв. В первую очередь выпадают бобовые, затем тимopheевка, позже овсяница луговая. Вместо них развиваются полевица обыкновенная, щучка дернистая и осоки, что способствует снижению урожаев и качества кормов. Таким образом, задача рациональной системы удобрения сенокосов и пастбищ заключается в повышении их продуктивности за счет сохранения оптимального соотношения в травостое бобовых и злаковых растений, которые обеспечивают высокое качество корма.

Повышенную потребность в питательных веществах трав на сенокосах и пастбищах обуславливает длительный вегетативный период. В ранние фазы развития травы потребляют наибольшее количество азота, фосфора, калия. Так, ежа сборная, овсяница луговая, тимopheевка и другие травы верхового типа ко времени колошения-цветения накапливают почти весь азот, 80–90 % фосфора и 70 % калия от общего их содержания в урожае. Повышенная потребность сенокосов и пастбищ в удобрениях обуславливается еще и тем, что значительная часть питательных веществ закрепляется в мощно развитой корневой системе трав. При отсутствии ежегодной перепахки, питательные вещества корневой системы после ее отмирания надолго выпадают из биохимического круговорота веществ.

Средние по ботаническому составу травостой при своевременной уборке на сено содержат 1,5–2,0 % азота; 0,4–0,5 – фосфора и 1,5–2,0 % калия. Однако колебания в содержании элементов питания могут быть весьма значительны у одного и того же растения в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания. При одноукосном и двухукосном использовании содержание элементов питания может различаться в 2–3 раза. Вынос питательных веществ на сенокосах будет определяться как уровнем урожаев лугового сена, так и содержанием в нем и в почве основных питательных веществ в доступном для растений состоянии. Многолетние травы по выносу элементов минерального питания с 1 га превосходят зерновые культуры и приближаются к корнеплодам. Так, например, урожай ржи в 25 ц зерна и 60 ц соломы выносит из почвы около 82 кг азота, 37 – фосфора и 75 кг калия. Урожай трав такой же величины, убранный в фазу цветения растений, выносит из почвы около 127 кг азота, 43 – фосфора и 127 кг калия. Нарастание массы трав на сенокосах и пастбищах идет непрерывно в течение всего вегетационного периода растений – после первого укоса или стравливания травы вновь отрастают, поглощая из почвы все новое и новое количества питательных веществ.

Содержание питательных веществ в травах и вынос их урожаями находятся в тесной связи со способами использования травостоя. Двухукосное использование сенокосов ведет к более высокому выносу питательных веществ урожаями, чем при одноукосном использовании (табл. 192; Ромашев П.И., 1949).

Это объясняется тем, что при двухукосном использовании сенокосов травы убираются в молодом состоянии, с более высоким содержанием питательных веществ, чем при одноукосном использовании. Особенно резкие различия по содержанию питательных веществ в травостое между первым и вторым укосами наблюдаются, когда травостой состоит из овсяницы, лисохвоста и ежи, так как в урожае вторых укосов этих трав преобладают вегетативные побеги

и листья, богатые азотом, фосфором и калием. Большие различия наблюдаются в интенсивности потребления питательных веществ травами одного и того же семейства. Поглощение элементов питания в значительной степени зависит от темпа нарастания биомассы и продолжительности прохождения растением фаз вегетации. Чем короче вегетационный период и меньше требуется времени для прохождения фенофаз у растения, тем интенсивней оно накапливает органическое вещество и поглощает элементы питания. Такие растения более требовательны к наличию в почве достаточного количества питательных веществ в легкоусвояемой форме. Травы, медленно развивающиеся, такие, как тимофеевка, мятлик луговой, в фазу трубокования растений поглощают около 50 % азота и около 30 % фосфора и калия от общего их содержания в конечном урожае. Травы с более высокими темпами роста и развития в начальных фазах, такие, как овсяница луговая и лисохвост луговой, в фазу трубокования растений накапливают 10–80 % азота и примерно 30–40 % фосфора и калия от общего выноса этих элементов конечным урожаем. К началу фазы цветения растений все травы, независимо от их биологических особенностей, поглощают почти все количество азота, около 70–80 % фосфора и калия к общему содержанию их в конечном урожае. При этом накопление азота, фосфора и калия в начальных фазах вегетации происходит интенсивнее, чем нарастание биомассы растений.

Таблица 192 – Вынос элементов питания травами первого и второго укосов

Травы	Первый укос				Второй укос			
	уро-жай-ность сена, ц/га	вынос, кг/га			уро-жай-ность сена, ц/га	вынос, кг/га		
		N	P ₂ O	K ₂ O		N	P ₂ O	K ₂ O
Тимофеевка	63,1	73,8	18,6	85,8	53,4	68,7	21,2	84,4
Клевер красный	34,4	80,3	13,9	55,4	33,3	89,0	16,2	64,7
Травосмесь	57,1	72,9	19,2	82,0	50,3	70,1	21,3	83,7

Азот на лугах усиливает рост и развитие вегетативной массы растений. При недостатке азота у злаков листья, особенно нижние, приобретают бледную и даже желтоватую окраску и отмирают от верхушки книзу. Рост растений приостанавливается, стебли становятся тонкими. При недостатке азота у бобовых наблюдается ослабление ростовых процессов, уменьшение линейных размеров при одновременном уменьшении ветвления. Окраска листьев бледно-зеленая.

Фосфор сокращает период вегетации трав, способствует быстрому развитию корневой системы и более глубокому ее проникновению в почву, делает растения более засухоустойчивыми. Содержание фосфора в травах колеблется от 0,3–0,5 до 0,8–1 % и более. Увеличение содержания фосфора в травах имеет место при возрастании доз фосфорных удобрений, стимулировании роста бобовых и разнотравья. При недостатке фосфора наблюдается замедление ростовых процессов, недостаточное развитие растений, запоздалое цветение и образование семян. Травы растут медленно, слабо кустятся, окраска трав темно-зеленая. Нижние листья могут иметь желтоватую или пурпурную окраску между жилками.

Калий. Содержание калия в травах колеблется от 0,5 до 10 %, в среднем 1,5–2,0 %. При недостатке калия ослабляется рост стеблей, у молодых листьев по

краю, начиная с верхушки, наблюдаются "ожоги", влекущие затем пожелтение, побурение и отмирание листьев. При низкой обеспеченности почвы калием наблюдается полегание стеблей, как результат низкой их прочности и слабо развитой корневой системы. Калий обеспечивает наилучшие условия для роста и развития в травостое ценных злаковых и бобовых трав и уменьшает засоренность.

Кальций стимулирует рост трав, увеличивает жизнеспособность растений и прочность стеблей. Содержание кальция в злаковых травах составляет от 0,33 до 0,51, в бобово-злаковых 1,14–1,44 и в разнотравье 1,12–1,60 %.

Магний. Содержание его в злаковых травах – 0,38–0,42 %, в бобовых – 0,8 %, в разнотравье – 1,3 %. При внесении азота содержание его увеличивается, а при высоких дозах калия – понижается из-за антагонизма между одновалентными и двухвалентными катионами. При сильном недостатке магния между параллельными жилками листьев, по всей длине листовой пластинки появляется белая полосчатость, приводящая к высыханию, отмиранию и опаданию листьев.

Большая потребность трав в питательных веществах отчасти удовлетворяется естественным притоком их в виде наилка на заливных лугах, в форме наносов на лугах с хорошо выраженным делювиальным процессом, подтоком грунтовых вод, богатых питательными веществами на некоторых низинных лугах. Это создает представление, что травы на лугах всех без исключения типов могут хорошо развиваться без внесения удобрений, за счет естественного притока. В действительности, заметно выраженный естественный приток питательных веществ имеет место лишь на незначительной части лугов. Но и в этих случаях естественный источник питательных веществ является недостаточным для получения высоких урожаев трав, удовлетворяя потребность растений, главным образом, в калии, в меньшей мере – в фосфоре и еще в меньшей степени – в азоте. Поэтому даже богатейшие заливные луга всегда нуждаются в азоте, лучшие низинные луга положительно реагируют на азотные и фосфорные удобрения, а болотные луга с торфяными почвами после их осушения обнаруживают, за редким исключением, потребность во всех питательных веществах. Только незначительная часть заливных лугов – центральная пойма рек – в благоприятные годы дает урожаи трав без внесения удобрений до 60–70 ц/га сена. Однако на этих лугах при внесении удобрений можно повысить урожаи трав до 100 ц/га сена. Все другие луга обнаруживают значительную потребность в удобрениях, давая без удобрений урожаи трав всего лишь в 10–20 ц/га сена.

Задача рациональной системы удобрения сенокосов и пастбищ заключается в том, чтобы получить высокие урожаи, сохранить оптимальное соотношение в травостое бобовых и злаковых растений и обеспечить высокое качество корма.

Травы на сенокосах и пастбищах растут с весны до осени, что обуславливает их повышенную потребность в питательных веществах. Потребность увеличивается при многократном скашивании, особенно при пастбищном использовании угодий. Под влиянием удобрений быстрее восстанавливается дернина, увеличивается ее плотность, следовательно, увеличивается устойчивость против эрозии и дефляции почв.

Потребность в удобрении обуславливается характером травостоя, особенно соотношением в нем бобовых и злаковых трав, способом использования кормовых угодий, плодородием почвы, условиями увлажнения.

Норма и соотношение вносимых удобрений определяется производственными возможностями луга (количество укусов или циклов стравливания,

длиной вегетационного периода, типом травостоя). Луговая растительность больше всего нуждается в азотных удобрениях, затем фосфорных, калийные удобрения действуют слабо.

Использование азота луговыми травами редко достигает 100 %. Обычно часть азота, внесенного в аммонийной форме, частично улетучивается, частично восстанавливается до свободного азота. Такие потери на почвах, богатых органическим веществом, могут достигать 30 %, а на бедных 20 %. При осеннем внесении азота в нитратной форме часть его может вымываться, что не наблюдается при внесении азота в период интенсивного роста трав. При применении небольших доз азотных удобрений N_{30-60} вся норма вносится за один раз. По мере увеличения доз до N_{120} , при хорошем увлажнении или орошении, азотные удобрения необходимо вносить дробно – после скашивания или стравливания, что дает дополнительно 1000–1200 кормовых единиц, при более равномерном распределении массы по периодам летнего сезона. Благодаря хорошей растворимости азотных удобрений и подвижности в почве в районах достаточного увлажнения, их целесообразнее вносить весной, в районах же недостаточного увлажнения, с малым снежным покровом – осенью. Из различных форм азотных удобрений, применявшихся на лугах, нитратные и аммонийные формы действуют примерно одинаково.

На луговых угодьях в год внесения из удобрений усваивается 65 % азота, 20 – фосфора и 60 % калия. На пастбищных угодьях усвоение элементов питания из удобрений больше, чем на сенокосах. При орошении коэффициенты использования питательных элементов на лугах возрастают по азоту до 80 %, по фосфору – до 30 и калию – до 70 %. На пастбищах отдача удобрений урожаям выше, чем на сенокосах. На 1 кг внесенного азота и фосфора можно получить соответственно 20–24 и 10–12 кормовых единиц. Под влиянием удобрений быстрее восстанавливается дернина, увеличивается ее плотность, следовательно, увеличивается устойчивость против эрозии и дефляции почв.

Потребность в удобрении обуславливается характером травостоя, особенно соотношением в нем бобовых и злаковых трав, способом использования кормовых угодий, плодородием почвы, условиями увлажнения. Удобрениями на лугах можно регулировать, существенно улучшать, а также и ухудшать ботанический состав луговых травостоев. Норма и соотношение вносимых удобрений определяется производственными возможностями луга (количеством укосов или циклов стравливания, продолжительностью вегетационного периода, типом травостоя). Луговая растительность больше всего нуждается в азотных удобрениях, меньше в фосфорных. Калийные удобрения действуют слабо.

Эффективность азотных удобрений зависит от условий увлажнения почвы и ботанического состава травостоя. Наибольшее действие оказывают азотные удобрения на лугах со злаковым и злаково-разнотравным травостоем. При содержании в травостое бобовых трав более 20 % эффективность азота уменьшается. На таких лугах большую эффективность проявляют калийные и фосфорные удобрения. Азотные удобрения способствуют повышению доли злаковых в травостое и снижают долю бобовых компонентов, а фосфорные и калийные удобрения, наоборот, увеличивают долю бобовых в травостое на минеральных почвах. Оптимальное соотношение злаковых и бобовых трав в травостое необходимо регулировать нормами и видами удобрений. По мере увеличения удельного веса злаковых трав необходимо повышать количество азотных удобрений, а при большой доле бобовых трав и разнотравья – фосфорно-калийных. При содержании бобовых культур в травосмеси 60 % подкормки азотом не должны превышать N_{60} на фоне $P_{60}K_{60}$. На

злаково-бобовых травостоях, содержащих до 40 % бобовых, норму азота следует увеличить до N_{120} . На чисто злаковых сеяных лугах при пастбищном использовании норма азота составляет N_{180} на фоне $P_{60}K_{60}$.

Отрицательное действие азотных удобрений на развитие бобовых в смешанных сенокосных травостоях проявляется в результате длительного применения азотных удобрений или при внесении их в больших количествах, либо при одностороннем азотном удобрении при низкой обеспеченности почвы калием, фосфором или водой. Под влиянием азотных удобрений содержание Na, Zn, Cu, Co, Mn увеличивается, а P, Ca и Mg – снижается.

Максимальный эффект от применения азотных удобрений наблюдается на орошаемых сенокосах и пастбищах, мелиорированных угодьях с устойчивым водным режимом с хорошими сеяными или улучшенными естественными травостоями преимущественно злакового состава. Из всех форм азотных удобрений на сенокосах и пастбищах в первую очередь следует использовать аммонийную селитру. При недостатке этого удобрения агроэкономически оправдано применение всех других твердых и жидких форм, включая и комплексные. Приближение сроков внесения азотных удобрений к началу активного потребления азота луговыми травами сокращает их потери и повышает эффективность. В частности, весеннюю подкормку необходимо проводить в период отрастания – начала кущения луго-пастбищных трав. Более раннее внесение приводит к снижению урожая, большим потерям азота и уменьшению коэффициента его использования растениями из удобрений.

Оптимальная норма азотных удобрений для природных пастбищ N_{180} , по N_{45-60} под каждый цикл стравливания; для удобрения среднегорных и частично высокогорных пастбищ – N_{90-120} . Удобрения вносят по поверхности почвы. Внесение азотных удобрений в ранние сроки развития злаковых растений обеспечивает повышение урожая, но мало изменяет содержание протеина. Внесение их во второй половине вегетации в меньшей степени увеличивает урожай, но значительно повышает содержание протеина. При внесении азотных удобрений важно проследить за содержанием нитратов в кормах во избежание превышения предельно допустимого уровня.

Важный показатель качества корма – отношение сахаров к протеину (оптимальное 0,8–1,2:1). При возрастании норм азота это отношение нарушается. Поэтому нельзя допускать одностороннего увеличения норм азота. Высокие нормы азотных удобрений также уменьшают накопление в травах кальция и магния, нарушается оптимальное соотношение $K:(Ca+Mg)$, которое в зеленом корме должно составлять 1:2,2. Это вызывает заболевание животных пастбищной тетанией. На пастбищах после удобрения повышенными нормами азота не рекомендуется стравливание молодой травы.

Фосфорные удобрения можно вносить с осени. Под их воздействием увеличиваются содержание фосфора в корнях, серы (при внесении простого суперфосфата), марганца (при внесении кислых форм удобрений). Наиболее целесообразно использовать фосфорные удобрения на орошаемых лугах. Для установления обоснованных норм внесения следует принимать во внимание результаты почвенных анализов по определению содержания подвижных форм фосфора. При очень низкой обеспеченности почв фосфором, рекомендуемые нормы удобрений следует на 20–30 % увеличить, а при средней – на ту же величину уменьшить. При высокой обеспеченности фосфорные удобрения вносить не целесообразно. Из фосфорных удобрений на лугах наиболее целесообразно применять все виды суперфосфатов и особенно двойной гранулирован-

ный. На торфяниках и кислых почвах эффективно внесение фосфоритной муки или суперфосфата пополам с фосфоритной мукой. Эффективность любого фосфорного удобрения при недостатке влаги в почве резко снижается.

Эффективность калийных удобрений повышается при наличии в травостое бобовых трав или при одновременном внесении их с азотными и фосфорными удобрениями. Для установления наиболее рациональных доз калийных удобрений лучше руководствоваться результатами агрохимических анализов. Калийные удобрения увеличивают содержание калия в сухом веществе корма на 3%. Обычно на сенокосах с глинистыми почвами калийные удобрения вносят в дозах 30–45 кг, на супесчаных 45–60 кг K_2O на 1 га и более. Нормы до K_{60} вносят после первого цикла использования, более K_{60} – после первого цикла и осенью. При высоком содержании подвижного калия в почве калийные удобрения весной не вносят. Так же, как и в отношении фосфора, дозы калийных удобрений в зависимости от малой или большой обеспеченности, в первом случае повышают, а во втором понижают на 20–30%. В отличие от азота, калий в почве менее подвижен и поэтому он проявляет заметное последствие. Вопрос о форме калийных удобрений в луговодстве практически не имеет значения. Совместное внесение фосфорно-калийных удобрений значительно эффективней, чем раздельное их внесение. Правильную дозу фосфорно-калийных удобрений следует определять по особенностям химического состава трав (содержанию в них фосфора и калия), а также по обеспеченности почв подвижными элементами питания, условиям увлажнения и ботаническому составу травостоя.

Действие полного минерального удобрения проявляется практически на всех типах лугов. Фосфорные и калийные удобрения вносят осенью, весной или зимой особенно в засушливых районах, а азотные – на сенокосах, рано весной и после первого укоса, на пастбищах – дробно весной и после стравливания. При этом для сохранения бобовых трав в травостое важно чтобы дозы фосфора и калия преобладали над азотом. Фосфорно-калийное и полное минеральные удобрения, наряду с резким увеличением общего урожая луговых трав, понижают засоренность лугов.

Внесение полного минерального удобрения на лугах дает прибавку урожая сена в 18–30 ц или округленно 9–15 ц кормовых единиц с гектара (Ромашев П.И., 1949). Перед закладкой под основную обработку вносят $N_{60}P_{120}K_{90}$ и дополнительно проводят подкормку N_{30} под каждый цикл стравливания. На интенсивных пастбищах удобрения применяют в соотношении 3:1:2 ($N_{180}P_{60}K_{120}$), на лугах сенокосного использования 1,5:1:1,5 ($N_{90}P_{60}K_{90}$). На сенокосах и пастбищах используют также органические удобрения – навозную жижу, бесподстилочный навоз. Удобрения вносят с учетом санитарных требований до начала вегетации, после укосов и стравливаний. На орошаемых пастбищах вследствие малой подвижности фосфора и калия в почве их целесообразно вносить перед созданием искусственных кормовых угодий в повышенных нормах на глубину вспашки.

По мере увеличения применения минеральных удобрений на лугах и роста урожайности луговых трав в луговодстве возрастает потребность в железе, магнии, сере и микроудобрениях.

*Железо**. Недостаток наблюдается при культуре луговых трав на освоенных верховых болотах, симптомы недостатка железа – межжилковый хлороз молодых растений. Это возможно и в том случае, когда имеющиеся железистые соединения

* Mg, Fe и S – мезоэлементы, в соответствии с классификацией А.Х. Шеуджена ("Биогеохимия", 2003).

связаны в почве избытком извести или марганца. При недостатке железа – производят внекорневые подкормки железным купоросом в концентрации 0,2–0,4 % с добавлением 0,15 % гашеной извести. Еще лучшие результаты дает внесение хелатов железа (металлоорганические комплексы, содержащие железо в ионной форме, вследствие чего оно легко поглощается и передвигается в растении).

Сера оказывает положительное влияние на рост корней и всего растения, на жизнедеятельность и образование клубеньков у бобовых. В растении ее содержание составляет 0,27–0,39 % на сухое вещество с колебаниями до 0,50 % – у бобовых; 0,65 % – у злаков и 0,92 % – у разнотравья. Вынос же серы на 1 т сена составляет у люцерны 2,37 кг, клевера 3,0, донника 3–4, мятлика 3 кг.

Бор выполняет важные функции в процессе синтеза протеина и связан с углеродным, кальциевым и калиевым обменом, передвижением минеральных веществ, усиливает процесс образования клубеньков у бобовых растений. Общее содержание бора в почвах в большинстве случаев колеблется от 1 до 270 мг/кг, составляя в среднем 20–50 мг/кг. Увеличивает урожай зеленого корма и семян с одновременным возрастанием содержания протеина (в среднем на 1,24 %). В растениях бор малоподвижен и его максимальное количество свойственно листьям и соцветиям, в стеблях и корнях. При содержании бора менее 2 мг/кг сухого корма, что проявляется в обесцвечивании верхушечных почек бобовых, сильным укорачиванием стеблей из-за неспособности междоузлий удлиняться (махровость), – необходимо его внесение в виде буры (11 %) в количестве $(100 \cdot 1,5) : 11,3 = 13,3$ кг/га. Для предпосевной обработки семян применяют растворы 0,005–0,015 % (4 л на гектарную порцию семян). Для внекорневой подкормки готовят 0,025 % концентрации из расчета 500–700 л/га.

Кобальт способствует повышению высоты растений, накоплению зеленой массы, усиливает рост и увеличивает урожай трав при одновременном увеличении содержания протеина в среднем на 1,43 %.

Бобовые отличаются максимальным содержанием кобальта – от 1,0 до 5,45 мг/кг сухого вещества (клевера, донника и др.). Из злаков наибольшим содержанием кобальта отличаются овсяница степная, мятлики, тимофеевка луговая, лисохвост и др. – 0,65–1,78 мг/кг сухого вещества. Значительное содержание кобальта отмечено у астровых (козлородники, тысячелистники, бессмертники и др.), губоцветных (душица обыкновенная, котовик, мята полевая). (Казарян Е.С., 1965). При содержании кобальта менее 0,2 мг на 1 кг сухой почвы, необходимо его внесение в виде сульфата кобальта (1,5 кг/га). Согласно результатам химического анализа, в почвах Краснодарского края подвижного кобальта содержится 0,8–5,0 мг/кг (Шеуджен А.Х., 2005).

Марганец. Наибольшим содержанием этого элемента отличается разнотравье (лютиковые, гвоздичные, розоцветные, норичниковые – 100–300 мг/кг), меньшим – крестоцветные, злаковые, маревые – 30–70 мг/кг. Содержание марганца у бобовых (28–100 мг/кг) выше, чем у злаков. Нормальным содержанием марганца считается его наличие в количестве 50 мг/кг сухого корма, а суточная потребность коровы – около 1000 мг.

Недостаток марганца чаще всего имеет место на карбонатных почвах и при внесении избыточного количества извести. Недостаток марганца в почве нарушает ход окислительных процессов железа и нормальное функционирование ферментов. Внешне его недостаток проявляется в пожелтении (хлорозе) листьев. Если содержание марганца ниже 0,30 мг/кг почвы, необходимо его дополнительное внесение в виде сернокислого марганца (10–15 кг/га), марганцизированного суперфосфата – (1,5–2,5 ц/га), марганцевого шлама (1–2 ц/га).

Для некорневой подкормки (500–700 л/га) и предпосевного намачивания семян используют раствор $MnSO_4$ в концентрации 0,05–0,1 % (10 л/ц семян).

Медь способствует повышению фотосинтетической деятельности луговых трав, участвует в азотном обмене растений. Содержание меди в черноземах – 24, в светло-серых почвах лесостепи – 16, а на торфяниках – 5 мг на 1 кг почвы (Пейве Я.В., 1961). При недостатке меди кончики листьев белеют. Недостаток меди чаще всего отмечается при культуре луговых трав, особенно бобовых, на торфяниках, где при внесении меди наблюдаются наибольшие прибавки урожая сена и семян. Помимо того, медные удобрения увеличивают содержание протеина в травах, улучшают поедаемость трав, увеличивают содержание бобовых в травостоях, повышают морозостойкость и зимостойкость трав, усиливают поступление калия в растения и уменьшают вероятность полегания трав. Весьма результативно внесение медных удобрений на пастбищах, где применяются высокие нормы азота, а также в тех случаях, когда применяются цинк, марганец, бор. Наиболее употребляемыми медными удобрениями являются: пиритные огарки, содержащие 0,3–0,7 % меди, вносимые раз в 3–4 года в количестве 5–6 ц/га.; медный купорос, содержащий 25,4 % меди – 15–20 кг/га, или 0,02–0,05 % раствор, вносимый некорневым путем в количестве 300–400 л/га, а при обработке семян 0,001–0,005 % раствор $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Молибден – стимулирует жизнедеятельность клубеньковых бактерий (особенно на кислых почвах), способствует росту бобовых трав и нормальному функционированию энзимов, восстанавливающих нитраты. Содержание молибдена в луговых травах – 3–7 мг /кг сухого вещества – с избытком покрывает потребность животных, требующих 2–3 мг/кг. Недостаток молибдена на травах проявляется в бледно–желтой окраске листьев и покраснении стеблей и черешков листьев. При недостатке молибдена в почве его вносят в виде молибдата аммония в количестве 100–175 г, которым обрабатывают гектарную порцию семян, или вносят некорневым путем (200–300 г молибдата аммония на 300–500 л воды). В результате такой обработки, прибавки урожая сена составляли 6–7 ц/га. В качестве молибденовых удобрений, помимо молибдата аммония, применяют молибденизированный суперфосфат (1,5–2,0 ц/га), промышленные отходы, шлаки, шламы (1–1,5 ц/га), молибдат аммония-натрия.

Цинк. Наибольшая эффективность цинковых удобрений наблюдалась на кислых почвах, сухих и бедных органическим веществом. Симптомы цинкового голодания – хлоротичные пятна между жилками листьев, снижение продуктивности травостоя. Недостаток цинка восполняется внесением в почву сульфата цинка 6–10 кг/га, цинковых отходов промышленности 1,5–3,5 ц/га. Для некорневой подкормки используют 0,01–0,05 % и для намачивания семян 0,02–0,05 % раствора $ZnSO_4$.

11.5.6. Питание и удобрение овощных культур и картофеля

При удобрении овощных культур следует учитывать, наряду с увеличением урожайности, необходимость получения продукции хорошего качества — с достаточным количеством витаминов, минеральных солей, не содержащих вредных соединений выше допустимого уровня. Это достигается регулированием состава и соотношения элементов питания в удобрениях под отдельные культуры, сроков их внесения в зависимости от вида получаемой продукции.

Изменчивость химического состава у овощных и бахчевых культур определяется биологическими особенностями культуры и сорта, почвенно-климатическими условиями и способами возделывания (табл. 193; Покровский А.А., 1976).

Таблица 193 – Содержание питательных веществ в овощах, г/100 г сырого вещества

Культура	Вода, %	Белки	Жиры	Углеводы, всего	Моно- и дисахариды	Крахмал	Клетчатка	Органические кислоты в пересчете на яблочную	Зола, %	Минеральные вещества						Провитамин А	Витамины, мг/100 г			
										Na	K	Ca	Mg	P	Fe		B ₁	B ₂	PP	C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Баклажаны	91,0	0,6	0,1	5,5	4,2	0,9	1,3	0,2	0,5	6	238	15	9	34	0,4	0,02	0,04	0,05	0,60	5
Бобы	83,0	6,0	0,1	8,3	1,6	6,0	0,1	0,7	–	–	–	–	–	–	–	0,05	0,06	0,10	0,60	20
Брюква	87,0	1,2	0,1	8,1	7,0	0,4	1,5	0,2	1,2	10	238	40	7	41	1,5	0,12	0,04	0,03	0,50	30
Горошек зеленый	80,0	5,0	0,2	13,3	6,0	6,8	1,0	0,1	0,8	2	285	96	38	122	0,7	0,40	0,34	0,19	2,0	25
Кабачок	93,0	0,6	0,3	5,7	4,9	–	0,3	0,1	0,4	2	238	15	9	12	0,4	0,03	0,03	0,03	0,60	15
Капуста:																				
белокочанная	90,0	1,8	–	5,4	4,6	0,5	0,7	0,05	0,7	13	185	48	16	31	1,0	0,02	0,06	0,05	0,40	50
краснокочанная	90,0	1,8	–	6,1	4,7	0,5	1,3	0,2	0,8	4	302	53	16	32	0,6	0,10	0,05	0,05	0,40	60
брюссельская	86,0	4,8	–	6,7	5,4	0,5	1,6	0,7	1,3	7	375	34	40	78	1,3	0,30	0,10	0,20	0,70	120
кольраби	86,0	2,8	–	8,3	7,4	0,5	1,7	0,1	1,2	10	370	46	30	50	0,6	0,10	0,06	0,05	0,90	50
цветная	90,9	2,5	–	4,9	4,0	0,5	0,9	0,1	0,8	10	210	26	17	51	1,4	0,02	0,10	0,10	0,60	70
Картофель	75,0	2,0	0,1	19,7	1,5	18,2	1,0	0,1	1,1	28	568	10	23	58	0,9	0,02	0,12	0,05	0,90	201
Лук зеленый	92,5	1,3	–	4,3	3,5	–	0,9	0,2	1,0	57	259	121	18	26	1,0	2,0	0,02	0,10	0,30	30
Лук-порей	87,0	3,0	–	7,3	6,5	–	1,5	0,1	1,2	50	225	87	10	58	1,0	0,10	0,10	0,04	0,50	35
Лук репчатый	86,0	1,7	–	9,5	9,0	–	0,7	0,1	1,0	18	175	31	14	58	0,8	Сле- ды	0,05	0,02	0,20	10
Морковь																				
красная	88,5	1,3	0,1	7,0	6,0	0,2	1,2	0,1	1,0	21	200	51	38	55	1,2	9,0	0,06	0,07	1,0	5
желтая	89,0	1,3	0,	7,0	6,0	0,2	0,8	0,1	0,7	65	234	46	36	60	1,4	1,10	0,10	0,02	–	5
Огурцы																				
грунтовые	95,0	0,8	–	3,0	2,5	0,1	0,7	0,1	0,5	8	141	23	14	42	0,9	0,06	0,03	0,04	0,20	10
парниковые	96,5	0,7	–	1,8	1,8	0,1	0,5	–	0,5	7	196	17	–	42	0,5	0,02	0,03	0,02	–	7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Патиссон	93,0	0,6	–	4,3	4,1	–	1,3	0,1	0,7	–	–	–	–	–	–	Сле- ды	0,03	0,04	0,25	23
Перец																				
зеленый (сладкий)	92,0	1,3	–	4,7	4,0	0,1	1,5	0,1	0,5	7	139	6	10	25	0,8	1,0	0,06	0,10	0,60	150
красный (сладкий)	91,0	1,3	–	5,7	5,2	–	1,4	0,1	0,6	19	163	8	11	16	–	2,0	0,10	0,08	1,0	250
Петрушка																				
зелень	85,0	3,7	–	8,1	6,8	1,2	1,5	0,1	1,1	79	340	245	85	95	1,9	1,70	0,05	0,05	0,70	150
корень	85,0	1,5	–	11,0	9,4	0,4	1,3	0,1	1,1	–	262	86	41	82	1,8	0,01	0,08	0,10	1,0	35
Пастернак (корень)	83,0	1,4	–	11,0	6,5	4,0	2,4	0,1	1,5	8	342	57	22	73	0,7	0,02	0,08	0,09	0,94	20
Ревень (черешковый)	94,5	0,7	–	2,9	2,5	–	1,0	0,1	1,0	35	325	44	17	25	0,6	0,06	0,01	0,06	0,10	10
Редис	93,0	1,2	–	4,1	3,5	0,3	0,8	0,1	0,6	10	255	39	13	44	1,0	Сле- ды	0,01	0,04	0,10	25
Редька	88,6	1,9	–	7,0	6,2	0,3	1,5	0,1	1,0	17	357	35	22	26	1,2	0,02	0,03	0,03	0,25	29
Репа	90,5	1,5	–	5,9	5,0	0,3	1,4	0,1	0,7	58	238	49	17	34	0,9	0,10	0,05	0,04	0,80	20
Салат	95,0	1,5	–	2,2	1,7	–	0,5	0,1	1,0	8	220	77	40	34	0,6	1,75	0,03	0,08	0,65	15
Свекла	86,5	1,7	–	10,8	9,0	–	0,9	0,1	1,0	86	288	37	43	43	1,4	0,01	0,02	0,04	0,20	10
Сельдерей																				
корень	90,0	1,3	–	6,7	5,5	0,6	1,0	0,1	1,0	77	393	63	33	27	0,5	0,01	0,03	0,04	0,30	8
зелень	78,0	–	–	2,0	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,80	0,02	0,10	0,42	38
Батат	80,5	2,0	–	13,8	6,0	7,3	1,3	0,1	1,2	–	397	34	28	49	1,0	0,30	0,15	0,05	0,60	23
Спаржа	92,7	1,9	–	3,6	2,3	0,9	1,2	0,1	0,6	40	196	21	20	62	0,9	0,03	0,10	0,10	1,0	20
Томаты																				
грунтовые	93,5	0,6	–	4,2	3,5	0,3	0,8	0,5	0,7	40	290	14	20	26	1,4	1,20	0,06	0,04	0,53	25
парниковые	94,6	0,6	–	2,9	2,9	–	0,4	0,3	0,6	15	243	8	–	35	0,5	0,50	0,04	0,03	0,50	20
Укроп	86,5	2,5	0,5	4,5	4,1	–	3,5	0,1	2,3	43	335	223	70	93	1,6	1,0	0,03	0,10	0,60	100
Фасоль	90,0	4,0	–	4,3	2,0	2,0	1,0	0,1	0,7	–	–	65	–	44	1,1	0,4	0,10	0,20	0,50	20
Хрен	77,0	2,5	–	16,3	–	–	2,8	–	1,4	140	579	119	36	130	2,0	Сле- ды	0,08	0,10	0,40	55
Чеснок	70,0	6,5	–	21,2	3,2	2,0	0,8	0,1	1,5	120	260	90	30	140	1,5	"	0,08	0,08	1,1	10
Шпинат	91,2	2,9	–	2,3	2,0	–	0,5	0,12	1,8	62	774	106	82	83	3,0	4,5	0,10	0,25	0,60	55
Щавель	90,0	1,5	–	5,3	5,0	–	1,0	0,72	1,4	15	500	47	85	90	2,0	2,5	0,19	0,10	0,30	43

При внесении удобрений урожайность капусты белокочанной повышается на 130–150 ц/га, томата – 80–100, лука 40–50 ц/га. Удобрения положительно влияют на качество овощной продукции: улучшается ее вкус, повышается содержание витаминов, углеводов, сухого вещества, увеличивается выход товарной продукции.

Потребление элементов питания и их вынос изменяются в зависимости от выращиваемой культуры и почвенно-климатических условий. Поэтому необходимо дифференцировать нормы и дозы удобрений в зависимости от условий выращивания растений.

Капуста. Все виды капусты (белокочанная ранних, средних, среднепоздних и поздних сортов, краснокочанная, цветная, брокколи, брюссельская, савойская, кольраби) хорошо отзываются на органические и минеральные удобрения, особенно азотные. Потребность в фосфоре наиболее высока у цветной капусты, брокколи, поздней белокочанной капусты. Больше всего калия требуется среднепоздним и поздним сортам белокочанной и краснокочанной капусты.

Капуста белокочанная. Имеет растянутый период поглощения элементов питания из почвы. Наибольшая потребность в них – в период завязывания кочанов. Раннеспелые сорта капусты потребляют элементы питания в более сжатые сроки, позднеспелые сорта имеют более растянутый период. На образование 100 ц товарной продукции белокочанной капусте требуется в среднем 41 кг азота, 14 – фосфора и 49 кг калия. Поэтому для получения хорошего урожая требуются высокие нормы удобрений. Эффективность внесения различных видов удобрений под капусту зависит не только от типа почвы, но и от ее окультуренности, содержания в ней питательных веществ, длительности применения удобрений, полива. Чем выше окультуренность почвы, тем меньшее количество питательных веществ нужно вносить.

На лугово-черноземных почвах Кубани наибольшее содержание сахаров и витамина С отмечено при внесении азотных удобрений. Но избыток азотного питания ухудшает хранение, калийные и фосфорно-калийные удобрения улучшают качество и лежкость капусты.

Обычно в составе удобрений капусты должен преобладать азот. Нормы удобрений на черноземах $N_{90-135}P_{90-135}K_{80-120}$, навоза 20–30 т/га. Под позднюю капусту нормы удобрений больше. Хороший эффект дает внесение перепревшего навоза в лунки при посадке рассады. Подкормки проводятся при образовании розеток и в начале образования кочана.

Если капуста поздняя высаживается после многолетних трав, то вносят полное минеральное удобрение. Одну треть фосфорно-калийного удобрения вносят осенью под зяблевую вспашку, остальное – весной и в подкормки. Если капуста размещается в севообороте за культурами, которые выносят с урожаем значительное количество питательных веществ (томат и другие), то вносят органические удобрения 30–50 т/га или соответственно увеличивают нормы азотных удобрений.

Капуста брюссельская. У брюссельской капусты в пищу употребляют небольшие кочанчики. Среди всех видов капусты брюссельская отличается более высоким содержанием сухого вещества (4,5–5,5 %), белка (3,5–5,5 %), сахара (4,5–5,5 %). Брюссельская капуста очень требовательна к плодородию почв и условиям минерального питания. Лучше всего она растет на окультуренных легких и средних суглинках с рН 6,5–7,5. Особенностью брюссельской капусты яв-

ляется ее способность использовать более активно питательные вещества почвы благодаря мощной корневой системе. Вместе с тем, она высоко отзывается на внесение удобрений. Согласно результатам полевых опытов О.В. Студенцова (1977), проведенных на Кубани, примерные нормы минеральных удобрений составляют: $N_{100-180}$, P_{60-80} , $K_{120-200}$.

Капуста краснокочанная. Является разновидностью кочанной. Отличительная ее особенность – красно-фиолетовая окраска наружных и внутренних листьев. Характер роста и развития, а также требования к плодородию почвы и удобрениям краснокочанной капусты такой же как у белокочанной.

Капуста савойская. Внешне савойская капуста отличается от белокочанной морщинистыми, гофрированными листьями. Как и у белокочанной, у этой капусты в пищу употребляют кочаны. Раннеспелые сорта савойской капусты на формирование 100 ц кочанов потребляют в среднем азота на 31 %, фосфора – 7, калия – 23 % больше, чем аналогичные сорта белокочанной. Среднеспелые и среднепоздние сорта обоих видов капусты предъявляют одинаковые требования к плодородию почвы. Согласно данным О.В. Студенцова (1977), полученным на Кубани, для скороспелых сортов савойской капусты оптимальные нормы азота лежат в пределах 60–90, фосфора – 40–60, калия – 60–90 кг/га, среднеспелых и среднепоздних сортов – $N_{80-120}P_{50-80}K_{80-120}$.

Капуста цветная. По своим требованиям к условиям почвенного плодородия и минеральному питанию цветная капуста превосходит остальные разновидности капусты, так как ее корневая система слабее развита. Под нее надо отводить плодородные, окультуренные участки преимущественно легкого гранулометрического состава с высоким содержанием органического вещества. На образование 100 ц товарной продукции цветной капусте требуется 84 кг азота, 29 – фосфора и 83 кг калия. Нормы удобрений под цветную капусту зависят от уровня планируемого урожая и обеспеченности почвы питательными веществами. Примерные нормы азота на черноземных почвах Кубани для среднеспелых сортов цветной капусты колеблются от 110 до 160 кг/га, фосфора – от 60 до 90, калия – от 110 до 140 кг/га.

Брокколи (спаржевая капуста). Является разновидностью цветной капусты. Головка у брокколи состоит из разветвленных стеблевых образований, заканчивающихся видоизмененными бутонами зеленого, синего, фиолетового или белого цвета, собранными в виде пучков. Период вегетации 135–150 дней. К почвенным условиям брокколи менее требовательна, чем цветная капуста. Она может успешно произрастать на тяжелых влажных почвах, но лучше развивается на легких и средних суглинках, богатых перегноем. Пригодными являются пойменные и пониженные участки. Капуста брокколи по потреблению питательных веществ, близка к цветной капусте. Поэтому нормы и способы внесения удобрений под брокколи аналогичны таковым для цветной капусты, хотя урожайность брокколи на 20–40 % выше, чем цветной капусты.

Кольраби. Пищевое значение у кольраби имеет шаровидно разросшийся стебель. Он содержит в 1,5 раза больше азотистых веществ и аскорбиновой кислоты, чем капуста белокочанная. Кольраби – наиболее скороспелая капуста. Она поспевает через 70–80 дней после всходов, или на 20–30 дней раньше белокочанной капусты. Примерные нормы удобрений: $N_{75-100} P_{30-40} K_{85-140}$. Вследствие скороспелости растений фосфорные и калийные удобрения следует полностью давать в предпосевную обработку, а азотные – до посадки (2/3 нормы) и в подкормку, которую делают по достижении стеблеплодами диаметра около 1,5 см.

Корнеплоды. Корнеплодные овощные культуры являются ценными и незаменимыми продуктами питания человека. Наиболее распространены среди них морковь, столовая свекла и редис. Кроме них, широко и повсеместно возделывают петрушку, сельдерей, пастернак, редьку, репу и брюкву. Все корнеплодные растения лучше всего формируются на легких суглинистых или супесчаных почвах с пахотным горизонтом > 20 см, содержанием гумуса > 4 %, уровнем стояния грунтовых вод > 60 см. Оптимальная влажность для этих культур на всех типах почв равна 80–85 % НВ. В годы с большим количеством осадков возможно затопление полей до 10 дней. Такие условия плохо переносит корневая система редьки, редиса и петрушки. Менее чувствительна к временному затоплению корневая система моркови, сельдерея и пастернака.

Почва, на которой возделываются корнеплоды, должна содержать 150–250 мг/кг фосфора и 170–250 мг/кг калия (по Кирсанову). Минеральные удобрения вносят в соответствии с картограммами, в расчете на планируемый урожай, с учетом окультуренности почвы, ее кислотности, выноса с урожаем элементов питания. Оптимальное соотношение в почве N:P:K равно 2,5:1,0:4,0; нарушение его снижает урожайность, ухудшает количество продукции. Особенно недопустима повышенная норма азота, так как при этом накапливаются нитраты и резко снижается лежкость продукции.

Морковь. Непременным условием для получения высокого урожая корнеплодов моркови является наличие в почве достаточного количества питательных веществ. На создание 100 ц товарной продукции эта культура потребляет 20,8 кг азота, 2,7 – фосфора, 39,3 – калия и 6,3 кг кальция. Требования моркови к минеральному питанию изменяются в зависимости и от фазы вегетации растений. В первый период своего развития она требует повышенного фосфорного питания. Фосфор улучшает химический состав корнеплодов: повышает содержание сахаров, витаминов. При недостатке этого элемента резко снижается урожай. Растения моркови усиленно начинают потреблять азот в период интенсивного образования надземной вегетативной массы. Как показали многолетние исследования А.И. Столярова (1985), при недостатке его нарастание площади листьев идет медленно, они рано желтеют и отмирают. Наоборот, при избытке азота наблюдается интенсивный рост листьев в ущерб корнеплодам. В период максимального роста корнеплода усвоение азота растением уменьшается, а к концу вегетации снова усиливается. Потребление калия корнеплодами в период вегетации моркови постепенно нарастает. Морковь – калиелюбивая культура. При недостатке этого элемента в почве наблюдается курчавость молодых листьев и краевой опал на старых листьях.

Значительную часть питательных веществ растения моркови используют из почвенных запасов. Имея глубокую проникающую корневую систему, она лучше, чем другие культуры, способна усваивать фосфор и калий из труднорастворимых соединений почвы. Для расчета нормы удобрений под планируемый урожай корнеплодов моркови необходимо пользоваться коэффициентом использования фосфора и калия из почвы и из удобрений, данными выноса элементов питания на единицу продукции. Безусловно, что прежде всего необходимо учесть и содержание доступных форм элементов питания в почве, используя для этих целей данные картограмм. Коэффициенты использования фосфора растениями моркови из удобрений составляют 15 %, из почвы – до 5 %. Коэффициенты использования калия из удобрений составляют 67 %, из почвы – до 20 %. Морковь следует возделывать по последствию органических удобрений. Внесение свежего навоза непосредственно под эту

культуру задерживает формирование и созревание урожая, ухудшает качество корнеплодов – получаются плохие на вкус, уродливые и разветвленные корнеплоды бледно-желтой окраски. Норма минеральных удобрений на черноземах Кубани под морковь составляет N_{60-90} , P_{60-120} , K_{60-90} . Две трети фосфорно-калийных удобрений под морковь необходимо давать с осени под зяблевую вспашку, остальные – весной. Дополнительное питание растений в период вегетации моркови обеспечивают подкормками. В течение вегетации растений по мере необходимости проводят две подкормки: первая – через две-три недели после всходов; вторая – через три-четыре недели после первой.

Столовая свекла. Одним из основных условий получения высококачественного урожая стандартных корнеплодов столовой свеклы является обеспечение ее питательными веществами в течение всего периода вегетации. Для получения урожая корнеплодов 400–500 ц/га растения свеклы используют из почвы 30–45 кг фосфора, 100–130 – азота, 210–260 – калия и 70–90 кг кальция. Кроме того, свекла выносит из почвы от 2,5 до 3,5 ц/га хлора и поэтому является хорошим предшественником для картофеля, который на почвах, содержащих избыток хлора, формирует клубни с низкими вкусовыми качествами.

Требования столовой свеклы к условиям минерального питания неодинаковы по фазам вегетации растений. В первую половину развития растения свеклы больше всего нуждаются в азоте, а в конце вегетации в калии. Азот способствует быстрому росту растений, вызывает появление новых листьев. Недостаток этого элемента ограничивает рост растений, существенно снижает урожай. Избыточное поступление азота в растения во второй половине вегетации приводит к чрезмерному росту листьев в ущерб урожаю корнеплодов. Поэтому азотная подкормка свеклы в поздние сроки нецелесообразна. Калий необходим для фотосинтеза, усиливает ростовые процессы и развитие корнеплодов. При недостатке этого элемента листья преждевременно желтеют, а корнеплоды вянут. Необходимость потребления фосфора растениями свеклы начинается с момента формирования корневой системы и продолжается в течение всего вегетационного периода. Недостаток фосфорного питания приостанавливает рост растений и задерживает формирование корнеплодов, так как наряду с азотом и серой фосфор необходим для образования белков.

Морковь и свекла неодинаково относятся к концентрации почвенного раствора. Дикие родичи свеклы – растения, растущие на засоленных почвах в окрестностях Средиземного и Каспийского морей, а дикие родичи моркови – растения степной флоры. Этим объясняется то, что проростки свеклы переносят концентрацию солей в 0,1 %, а морковь в шесть раз меньшую – 0,017 %.

Столовая свекла отзывчива на внесение органических и минеральных удобрений. Под эту культуру можно использовать любые органические удобрения. Органические удобрения, внесенные под свеклу, почти повсеместно повышают урожай. Если под предшествующую культуру навоз не был внесен, то необходимо внести 20–50 т/га перегноя под зяблевую вспашку. Сидераты в сочетании с минеральными удобрениями также обеспечивают высокие урожаи свеклы, не уступающие иногда урожаю по навозу. Потребность в минеральных удобрениях зависит от плодородия почвы в хозяйстве и от способов их внесения. Примерная норма удобрений на черноземах Кубани под столовую свеклу составляет $N_{60-100}P_{60-100}K_{60-90}$. Под зяблевую вспашку вносят обычно 2/3 нормы фосфорных и калийных удобрений, под весеннюю обработку почвы и в подкормки остальное количество, в том числе и азот. В период вегетации обычно проводят две подкормки: первую делают после появления 3–4-го настоящего листа; вто-

рую – во время налива корнеплода, когда его диаметр достигает 2,5 см. Из азотных удобрений при внесении под столовую свеклу предпочтение отдается нитратным формам. Под эту культуру используют как сернокислый, так и хлористый калий. Однако сульфаты имеют преимущество в первоначальный период роста и развития растений, а хлориды предпочтительнее в период формирования корнеплода. Столовая свекла высоко отзывается на внесение обогащенного марганцем и бором гранулированного суперфосфата.

Редис. Это ценный скороспелый овощ, который богат эфирными маслами и гликозидами, обладающими фитонцидными свойствами. Редис очень требователен к почве. Он хорошо растет на почвах, богатых гумусом и питательными веществами в легкодоступной форме. При выращивании на легких почвах корнеплоды приобретают дряблость и острый вкус, а на тяжелых, вязких почвах деформируются. Редис не переносит удобрение свежим навозом, который лучше вносить под предшественник. На формирование 100 ц урожая он расходует 16,8 кг азота, 7,3 – фосфора, 34,2 – калия и 5,7 кг кальция. При таком малом выносе питательных веществ редис отличается интенсивным их потреблением в единицу времени. Поэтому он хорошо отзывается на внесение удобрений. В начале развития редис требует усиленного фосфорного питания, поэтому хорошо отзывается на внесение гранулированного суперфосфата в рядки при посеве семян. Следует помнить, что из-за короткого вегетационного периода под эту культуру лучше вносить быстродействующие формы азотных удобрений – калийную и аммонийную селитру. Рекомендуется использование удобрений с низким содержанием хлора. Примерная норма удобрений на черноземах Кубани под редис $N_{40-60}P_{30-40}K_{40-60}$, перегной 20–30 т/га.

Редька. Основная питательная ценность редьки – в высоком содержании солей калия, натрия, кальция, магния, железа, фосфора, серы, хлора. Особенно богата солями черная редька. Острый и своеобразный вкус ее определяет наличием эфирных масел.

Мощный ассимиляционный аппарат у редьки позволяет формировать гигантские корнеплоды, достигающие на Кубани 60–80 см длины и весящие 3–5 кг. На формирование 100 ц эта культура расходует 30,4 кг азота, 2,6 – фосфора, 35,7 – калия и 3,5 кг кальция. Примерная норма удобрений на черноземах Кубани под редьку $N_{40-90}P_{40-60}K_{40-90}$, перегной 30–40 т/га. Меньшие нормы удобрений рекомендуются под скороспелые, большие – под позднеспелые сорта редьки. При ожидаемом появлении черной гнили редьки следует предпочитать удобрения, снижающие рН почвенного раствора. Навоз нельзя вносить непосредственно под редьку, поскольку это способствует формированию корнеплодов аномальной формы.

Лучшими предшественниками для редьки на Кубани являются лук, огурцы, томаты и картофель.

Сельдерей. Корневой сельдерей образует толстый корнеплод, который используют в качестве приправы и специй для супов, салатов или в жареном виде. В корнеплодах содержится аспарагин, соли калия, кальция, фосфора, натрия, щавелевая кислота, сахара, маннит, холин, витамины С, В₁, В₂, РР и U.

Сельдерей предъявляет высокие требования к наличию в почве как макро- так и микроэлементов. На формирование 100 ц товарной продукции эта культура расходует 20,8 кг азота, 2,7 – фосфора, 39,3 – калия, 6,3 кг кальция, т.е. очень высока потребность у сельдерея в азоте и калии. При азотных подкормках хорошо растет листовая розетка; фосфор ускоряет созревание растений и улучшает качество продукции. Калийные удобрения способствуют накопле-

нию сахаров и крахмала в растении и повышают его устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Сельдерей требует глубокой вспашки для хорошего проникновения корней, а при образовании плужной подошвы – и более глубокого рыхления. Как галофит, сельдерей переносит калий в хлоридной форме. Примерная норма удобрений на черноземах Кубани под сельдерей $N_{40-60}P_{30-50}K_{40-90}$, перегной 30–40 т/га. Органические и фосфорные удобрения вносят под основную обработку почвы, калийные – перед посевом. Поскольку потребление больших количеств азота для роста листьев на очень ранних этапах их формирования может привести к повышению содержания нитратов в корнеплодах, азотные удобрения вносят в два–три приема. Перед посевом вносят только половину расчетной нормы. Оставшаяся часть – в подкормках: в начале июля и в середине августа. На почвах со слабощелочной и щелочной реакцией в период возможной засухи в июле растения сельдерея могут испытывать недостаток бора (коричневый цвет сердечка). Снижение содержания этого элемента менее 1 мг/кг является критическим. Первый симптом борной недостаточности у сельдерея – появление коричневых пятен в тканях корнеплода. Позднее в нем образуются пустоты, на самых молодых листьях появляются желтые пятна, середина листа отмирает, на черешках образуются поперечные трещины, разрывается конус нарастания корнеплода. Для профилактики вносят борсодержащие удобрения (из расчета до 2–3 кг бора по д.в.). При остром недостатке бора проводят некорневую подкормку растений 0,5 % водным раствором бора при норме расхода рабочего раствора 400 л/га. Сельдерей можно возделывать как по другим зонтичным, так и в повторных посевах только через 4–5 лет. Хорошими предшественниками для этой культуры в открытом грунте являются капуста, огурец, томат, ранний картофель.

Петрушка. Корнеплоды петрушки богаты минеральными солями калия, кальция, фосфора, железа, витаминами А, С, В₁, В₂, РР, К; листья содержат эфирные масла. Возделывают практически во всех регионах Российской Федерации. На юге страны это довольно распространенная культура.

Петрушка очень требовательна к плодородию почв, хорошо растет на легких суглинках и супесчаных почвах с высоким содержанием органического вещества. По биологическим особенностям она близка к моркови, но предъявляет более высокие требования к фосфорному питанию. Корневую петрушку лучше сажать на второй год после внесения органических удобрений, в противном случае у нее формируются сильно разветвленные корнеплоды. Листовые сорта петрушки в период интенсивного нарастания массы высоко отзываются на азотные подкормки, нуждаются в непосредственном внесении органических удобрений. На формирование 100 ц товарной продукции корневая петрушка расходует 41,6 кг азота, 9,5 – фосфора, 34,0 – калия и 24,5 кальция. Оптимальная норма удобрений на черноземных почвах юга нашей страны $N_{60-90}, P_{90-120}, K_{60-90}$; 2/3 фосфорного удобрения вносится до посева под основную обработку почвы, оставшаяся часть – в рядки при посеве. Под предпосевную обработку почвы вносится половина норм азотных и калийных удобрений, оставшаяся половина – в подкормках. Первую подкормку петрушки проводят в период образования растениями 2–3 настоящих листьев, вторую – через 20–25 дней. Для растений поздних сроков уборки полезно дать еще одну калийную подкормку.

Петрушка не переносит повторные посевы как по петрушке, так и по другим культурам из семейства зонтичных, возврат на прежнее место возможен не менее чем через четыре года.

Пастернак. По содержанию легкоусвояемых углеводов пастернак занимает одно из первых мест среди корнеплодных растений. В нем содержатся витамины, белки, сахара и другие полезные вещества: до 30 мг витамина С на 100 г сырой массы; 17–19 % сухих веществ; 8,6–10,5 % сахара; витамины В₁ и В₂; эфирные масла – 1,35 %. Кроме того, он накапливает меньше нитратов (50 мг/кг свежей массы), чем другие корнеплодные растения. Эти свойства в сочетании с зимостойкостью корнеплодов пастернака, благодаря которой они могут перезимовывать в поле, обусловили его широкую распространенность.

Пастернак хорошо растет в различных климатических условиях, но наивысшие урожаи получают в морском климате и при средних температурах (минимальная температура 4°C, оптимальная – 16–18°C). Для него наиболее пригодны почвы среднего и тяжелого гранулометрического состава. Пастернак положительно реагирует на высокое содержание гумуса. Он хорошо отзывается на внесение удобрений под предшествующую культуру или осенью, и на внесение суперфосфата или аммофоса в рядки при посеве, а также на подкормку минеральными удобрениями. На формирование 100 ц корнеплодов пастернак использует 16,8 кг азота, 7,3 – фосфора, 34,2 – калия и 5,7 кг кальция. Оптимальная норма удобрений на основных почвах юга нашей страны для пастернака N_{40–60}P_{30–40}K_{60–90}, перегной 20–30 т/га. Лучшие предшественники – огурец, лук, картофель, капуста.

Репка. В Российской Федерации репа распространена повсеместно: от Крайнего Севера до южных границ. На Кубани она имеет только локальное значение. Корнеплоды репы содержат 8,5–16,9 % сухих веществ, половина из них – сахара. В них много витаминов В₁, В₂, С и провитамин А.

Лучшие почвы для репы – супесчаные и суглинистые с нейтральной и слабокислой реакцией, удается она и на других почвах. Из всех овощных культур только репа переносит повышенную кислотность почвы, удовлетворительно произрастая при рН 5,5 и даже 5. В севообороте репу размещают после культур, под которые вносили органические удобрения. Во избежание поражения килой ее возвращают на то же поле не раньше чем через 5–6 лет.

Репка отзывчива на фосфорные и калийные удобрения. При высокой обеспеченности почвы азотом и низкой – фосфором и калием снижается устойчивость репы к заболеваниям, повышается количество нитратов в корнеплодах и уменьшается концентрация в них сахаров. На формирование 100 ц товарной продукции репа расходует 18,4 кг азота, 2,9 – фосфора и 36,9 кг калия. Оптимальная норма минеральных удобрений на окультуренных высокогумусированных почвах для этой культуры N_{40–60}P_{60–90}K_{90–120}. Под зяблевую вспашку на малоплодородных почвах вносят органические удобрения из расчета 40–60 т/га.

Брюква. Культивируют столовую и кормовую брюкву. На вкус брюква слаще репы. Содержание витамина С в ее корнеплодах достигает 31–47 мг/100 г сырой массы. Причем, он сохраняется при варке и во время зимнего хранения. Поэтому корнеплоды брюквы считаются важнейшими источниками витамина С. Выращивают ее в основном для потребления зимой, хотя собираемые в конце лета недозревшие корнеплоды – превосходное лакомство. Растениям брюквы не следует давать перерастать. Это ведет к появлению гигантских корнеплодов, часто деревянистых и годных скорее на корм скоту, чем в пищу человеку.

В южных районах нашей страны брюква малораспространенная культура, хотя в Нечерноземной полосе в Европейской части ее возделывают на до-

вольно больших площадях. Наиболее пригодны для нее суглинистые почвы, богатые органическими веществами, с невысоким уровнем грунтовых вод; может давать хорошие урожаи и на глинистых почвах, осушенных болотах или торфяниках. На легких супесчаных почвах брюква дает высокие урожаи лишь при внесении удобрений. Щелочные почвы она переносит плохо. На формирование 100 ц товарной продукции брюква выносит из почвы 21,1 кг азота, 2,8 – фосфора и 37,1 кг калия. Столовая брюква хорошо отзывается на внесение минеральных удобрений, а также натрия, бора и меди. Удобрения под брюкву вносят из расчета $N_{40-60}P_{60-90}K_{60-120}$ на фоне 30–40 т/га перепревшего навоза. Органические удобрения, а также 2/3 нормы минеральных туков вносят под зяблевую вспашку, остальные минеральные удобрения – под предпосевную обработку почвы. У брюквы еще раньше, чем у других корнеплодных растений проявляются симптомы борной недостаточности, которая проявляется в стекловидности мякоти корнеплода.

В севообороте брюкву лучше размещать пожнивной после озимой ржи, вико-овсяной смеси на зеленый корм и раннего картофеля.

Огурец. Лучшие почвы для огурца – суглинистые, воздухо- и водопроницаемые, с высоким содержанием гумуса. Хорошими почвами считаются пойменные, черноземы, торфяники. При соблюдении правильной агротехники огурец можно выращивать и на тяжелых глинистых и легких песчаных почвах. Чтобы улучшить тяжелые глинистые почвы, целесообразно осенью добавить к ним навоз, опилки, листовую землю, торф и другие рыхлящие материалы.

Отличается быстрым темпом поглощения питательных веществ и большой чувствительностью к повышенной концентрации почвенного раствора, что вполне соответствует темпам роста и развития этой культуры. За короткий период вегетации (90–105 дней) при благоприятных условиях они формируют довольно высокий урожай плодов. Причем, их корневая система развита слабо, обладает небольшой сосущей силой, расположена в верхнем слое почвы и практически не может использовать питательные вещества из более глубоких ее слоев. Поэтому высокую требовательность огурцов к питательным веществам следует удовлетворять за счет применения удобрений.

Потребность огурцов в элементах питания в процессе роста и развития растений изменяется: в начале вегетации они интенсивнее поглощают азот; затем с ростом боковых плетей повышается усвоение калия, фосфора; потом в период плодообразования происходит интенсивное потребление азота. Для образования 100 ц плодов растения огурца используют в среднем 27,5 кг азота, 14,6 – фосфора и 44,2 кг калия.

Огурцы являются одной из самых отзывчивых овощных культур на органические удобрения. Внесение их повышает рыхлость и воздухопроницаемость почвы, улучшает условия минерального питания, а выделяющаяся при разложении органического вещества углекислота является дополнительным источником воздушного питания. Все это благоприятствует росту корневой системы и надземных органов огуречных растений.

Нормальное питание огуречного растения создается при достаточном содержании элементов питания невысокой концентрации. Поэтому хорошие урожаи получают при совместном внесении органических и минеральных удобрений. Нормы удобрений на черноземах $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$, навоз 40–60 т/га. Органические удобрения под огурцы при зяблевой вспашке заделывают на глубину пахотного 18–20 см слоя почвы, а весной на глубину 13–15 см. Однако органические удобрения медленно разлагаются в почве. Поэтому для лучшего

обеспечения растений питательными веществами, особенно в молодом возрасте, необходимо применять совместно органические и минеральные удобрения. На выщелоченном черноземе Краснодарского края внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ повышало содержание сухих веществ, сахаров и аскорбиновой кислоты. При увеличении норм фосфора улучшалось качество свежих и соленых огурцов. Подкормки проводят в фазе бутонизации и в начале цветения растений.

Лучшее место для огурца в севообороте – поле с навозным удобрением. Лучшие предшественники – многолетние и однолетние травы. Из овощных растений наиболее пригодны в качестве предшественника культуры, идущие по пласту многолетних трав или по навозному удобрению, не принадлежащие к семейству тыквенных – капуста, томат. В овощных травопольных и паропропашных севооборотах хорошими предшественниками огурца являются ранние овощные культуры – ранняя и цветная капуста, бобовые, ранний картофель, ранние томаты, лук, зеленные, а также морковь, перец, баклажан, кукуруза. Огурец, в свою очередь, хороший предшественник для большинства овощных культур.

Томат. К почвам томаты менее требовательны, чем другие овощные культуры. Они могут расти на почвах с разной кислотностью, но при pH не выше 5,5. Наиболее высокие урожаи эта культура дает на хорошо прогреваемых плодородных почвах, богатых органическим веществом, – на черноземах и незатопляемых или рано освобожденных от воды пойменных почвах с pH 5,5–6,5. Хорошие урожаи томатов можно также получить на супесчаных и суглинистых почвах при внесении удобрений и поддержании почвы в рыхлом состоянии. Малопригодны для них пониженные участки с близким уровнем залегания грунтовых вод, плохо прогреваемые. Томаты требовательны к содержанию питательных веществ в почве, хорошо отзывчивы на удобрения. На каждые 100 ц товарной продукции они выносят из почвы и удобрений 32 кг азота, 11 – фосфора и 40 кг калия. Эти величины несколько изменяются от уровня агротехники, сорта и высоты урожая.

В первый период вегетации растения томата слабо используют питательные вещества из почвы – лишь 5–7 % общего потребляемого количества питательных веществ. В фазу плодоношения растений потребление питательных элементов резко возрастает. Поэтому по мере нарастания вегетативной массы и особенно в период интенсивного образования плодов отзывчивость томатов на удобрения резко повышается. Так, по данным З.И. Журбицкого (1963), у 30-дневных растений томатов на 100 частей азота расходовалось фосфора – 24, калия – 70 и кальция – 89, а в период плодоношения соответственно 48, 291 и 199, т.е. количество фосфора и кальция увеличивалось вдвое, а калия – в 4 раза. Следует иметь ввиду также, что для молодых растений требуется хотя и меньше удобрений, но в более усвояемой форме и бесперебойном их поступлении. Из органических удобрений можно вносить перегной и перепревший навоз. Из минеральных – томат наиболее отзывчив на фосфорные удобрения.

Особенно чувствительны растения томата к недостатку фосфора в первые фазы вегетации. В этот период его следует вносить в легкоусвояемой форме, что способствует усилению роста и развития растений, более раннему наступлению плодоношения, увеличению урожая и улучшению качества продукции. Почти весь потребляемый фосфор идет на формирование плодов. При недостатке этого элемента растения томата слабее усваивают азот, что вызывает остановку их роста. Стебель и черешки листа приобретают синевато-

тую окраску, пластинки листа сначала становятся сине-зелеными, позднее – сероватыми. Верхние, физиологически более молодые листья становятся узкими и направляются вверх под острым углом по отношению к стеблю. В дальнейшем, если не будет проведена подкормка фосфорными удобрениями, листья по главной жилке скручиваются наружу вниз, а доли листьев свертываются внутрь, плоды плохо созревают, приобретают бронзовую окраску, корни покрываются ржавым налетом. При дальнейшем фосфорном голодании растения остаются карликовыми. Фосфорная недостаточность и отсутствие положительного действия от внесения под томаты фосфорных удобрений могут быть вызваны и недостатком азота в почве.

Азот – необходимый и незаменимый элемент питания, обеспечивающий формирование вегетативных органов растений томата. Поэтому особо чувствительны к недостатку азота растения томата в начальный период вегетации и в фазе налива плодов. При недостатке азота приостанавливается рост стебля, листьев и плодов. Листья и стебли приобретают бледно-зеленую окраску, потом желтеют и в нижней части стебля опадают. Пожелтение листьев начинается с середины и переходит к краям. У растений, испытывающих недостаток азота, плоды, как правило, мелкие, деревянистые, бледно-зеленые, при созревании ярко окрашенные. Вместе с тем избыточное питание растений томата азотом способствует интенсивному нарастанию вегетативной массы в ущерб плодоношению.

Калий необходим для формирования стеблей и завязей томатов. Велика его роль в синтезе и передвижении ассимилянтов – углеводов и белковых веществ. Калий участвует в ферментных системах, катализирующих превращение фосфорорганических соединений. При калийном голодании передвижение ассимилянтов замедляется; в листьях накапливается аммиачный азот, что приводит к их обезвоживанию и увяданию; приостанавливается рост стеблей, растения начинают подсыхать; по краям листьев появляются желтовато-коричневые точки, листья скручиваются и отмирают. На кислых почвах у растений нижняя сторона листьев сначала приобретает фиолетовую окраску, а затем появляются коричневые пятна.

К числу наиболее дефицитных элементов для роста и развития растений томатов относится кальций. Он стимулирует корнеобразование и формирование наземных вегетативных органов, устраняет вредное действие веществ, повышающих кислотность почвы, и улучшает усвояемость других элементов минерального питания. При недостатке кальция наблюдается увядание растения, отмирание верхушек стеблей и точек роста у томатов.

С учетом видов и степени окультуренности почв под томаты рекомендуется удобрения из расчета $N_{90-120}P_{90-120}K_{90-120}$, навоз 40 т/га.

Под влиянием удобрений увеличивается содержание сухих веществ, сахаров, аскорбиновой кислоты. При низком уровне калия заметно ухудшается качество плодов. Оно улучшалось при внесении микроудобрений. В Краснодарском крае при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ прибавка урожайности составляла 50–60 ц/га. Аналогичные данные получены и в республиках Адыгея и Кабардино–Балкария. Азотные удобрения эффективно вносить в более поздний период вегетации – роста плодов и начала созревания их на первой кисти. Эффективно также внесение борных и марганцевых удобрений. Под томат, размещаемый в севообороте после капусты, вносят полное минеральное удобрение. Если томат следует после других культур (лук, чеснок), то нормы азотных удобрений увеличивают.

Баклажан. Растения баклажана весьма требовательны к условиям минерального питания: на формирование 100 ц продукции потребляют 45–60 кг азота, 10–15 – фосфора и 60–80 кг калия. Поэтому баклажаны хорошо отзываются на внесение минеральных удобрений. Они больше нуждаются в азоте, чем перец – при его недостатке прирост всех вегетативных органов резко замедляется. Однако высокие нормы азотных удобрений для баклажан опасны – они затягивают рост растений в ущерб плодообразованию. Фосфорные удобрения способствуют росту корней, образованию генеративных органов, ускорению созревания плодов баклажана. Недостаток фосфора приводит к приостановке роста, опадению бутонов, плохому развитию завязи. Калий способствует активному передвижению питательных веществ по растению, повышает его сопротивляемость болезням и вредителям. Хорошие урожаи баклажана получают при внесении в почву органических удобрений под зяблевую вспашку. Внесение перепревшего навоза или перегноя в норме 20–30 т/га увеличивает урожайность плодов на 20–35 %. При наличии органических удобрений в достаточном количестве их вносят под баклажаны до 60 т/га. Система удобрения сходна с удобрением томата. Норма удобрений на черноземах $N_{90-120}P_{90-120}K_{60-120}$, навоз 20 т/га. Для усиления роста проводят подкормку из расчета $N_{30-40}P_{30}K_{30}$.

Перец. Растения перца требовательны к почве и ее плодородию. Они плохо растут и плодоносят на тяжелых глинистых почвах и на участках с сильно минерализованными почвенными разновидностями. Неблагоприятна для них повышенная кислотность. Оптимальной считается реакция почвенного раствора рН 6,0–6,6. Наибольшие урожаи перца получают на супесчаных или легкосуглинистых черноземах, хорошо оструктуренных богатых гумусом почвах, содержащих питательные вещества в легкодоступной форме. Важную роль в питании растений перца играет азот, который улучшает рост вегетативных органов – корней, стеблей, листьев. При недостатке этого элемента рост растений замедляется. Избыток же азота вызывает буйный рост стеблей и листьев, задержку образования и созревания плода перца. Фосфор благотворно влияет на рост корневой системы, на ускорение образования завязей и плодов. Калий необходим в течение всей жизни, он повышает холодоустойчивость растений, ускоряет созревание плодов перца. В кальции растения перца нуждаются относительно равномерно на протяжении всего периода вегетации. Очень требователен перец к магнию. Сильный дефицит этого элемента в почве вызывает отмирание листьев и в конечном итоге снижает урожай и ухудшает его качество.

На формирование 100 ц продукции перец тратит 45–60 кг азота, 10–15 – фосфора и 70–85 кг калия. Вынос элементов питания перцем из почвы зависит от степени созревания убираемых плодов. При сборе урожая в биологической спелости поглощение минеральных веществ на единицу массы почвы удваивается. Отмечено также, что острые сорта выносят из почвы питательных веществ на единицу урожая больше, чем сладкие.

Система удобрения перца сходна с удобрением томата. Норма удобрения на черноземах $N_{90-160}P_{90-150}K_{60-150}$. Положительно реагируют растения перца на внесение в почву микроэлементов – бора, иода, кобальта, марганца, меди, молибдена, цинка. Особенно чувствителен перец к недостатку микроэлементов на высоком агрофоне. Перец хорошо отзывается на внесение перегноя, но отрицательно реагирует на свежий навоз. Это связано с тем, что под влиянием свежего навоза и отдельных его фракций в корнях накапливается органический кислоторастворимый фосфор при одновременном уменьшении нукле-

инового фосфора. Поэтому слаборазложившиеся органические удобрения вносят под предшествующую культуру. Примерная норма полуперепревшего навоза для перца 20–40 т/га. Наибольший урожай и наилучшее его качество получают при совместном внесении органических и минеральных удобрений. При оптимальной норме органического удобрения урожай увеличивается в среднем на 29,8 %, а на фоне одних минеральных удобрений – на 21,7 %. Совместное внесение этих удобрений даже в меньших нормах обеспечивает прибавку урожая на 30,6–44,2 % (Лудилов В.А., Гикало Г.С., Гиш Р.А., 1999).

Луковичные растения. В культуре встречается лук репчатый, лук-порей, чеснок, лук-батун, многоярусный лук, шнитт-лук, лук душистый и лук-слизун. Из указанных видов лука на Северном Кавказе наиболее распространен и выращивается повсеместно лук репчатый, лук-порей и чеснок.

Лук репчатый лучше удается на окультуренных легкосуглинистых и супесчаных почвах, а также не заплывающих черноземах с мелкокомковатой структурой. Лук репчатый требователен к плодородию почвы. Объясняется это тем, что его корневая система характеризуется слабой усвояющей способностью и располагается в поверхностном слое почвы. Лук репчатый чувствителен к кислотности почвы. Уже при значениях рН ниже 5,8 листья становятся мелкими, светло-зелеными с желтыми верхушками. Такие ослабленные растения легко поражаются болезнями, вредителями и дают низкий урожай. Оптимальная для развития репчатого лука реакция почвенного раствора находится в пределах рН 6,0–7,0. Лук репчатый сильно реагирует на концентрацию солей в почве, поэтому большие нормы минеральных удобрений под него не рекомендуются. Особенно чувствителен к концентрации почвенного раствора лук на севок, менее на перо.

Потребность и динамика поглощения питательных веществ луком зависят от сорта, способа посева семенами или севком, а также от цели выращивания (табл. 194; Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н., 1998).

Таблица 194 – Затраты питательных веществ растениями лука на формирование 100 ц продукции в зависимости от сорта и целей выращивания, кг

Сорта	При посеве семенами			При посадке севком			При выращивании на перо		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Острые	54	16	40	44	12	21	32	9	16
Сладкие	42	13	48	30	11	11	19	5	25

Острые сорта в среднем на 100 ц продукции потребляют на 14 кг больше азота и на 11 кг меньше калия, чем сладкие сорта лука. Значительное преобладание потребления азота над калием у острых луков связано с более высоким содержанием сахаров. При реализации урожая вместе с пером растения выносят меньше питательных веществ, чем при уборке зрелого лука.

Наращение биомассы у лука усиливается со времени образования луковичцы. Этот период наступает значительно раньше при высадке лука севком, чем при посеве семенами. Наибольшая интенсивность усвоения питательных веществ у лука репчатого совпадает с периодом максимального нарастания сухого вещества. В период вегетации луковичного растения изменяется потребность в различных элементах питания. В первую половину жизни лук больше потребляет азота, а во время формирования лукович – фосфора и калия. При недостатке азота развиваются слабые растения со светло-зеленой

окраской, при достаточном количестве этого элемента в почве листья у лука приобретают темно-зеленую окраску и имеют мощный восковой налет. Избыток азота задерживает созревание луковиц, уменьшает содержание сахаров, одновременно повышая количество в них воды. У растений, страдающих от избыточного содержания азота в почве, луковицы становятся рыхлыми, отчего урожай снижается. Фосфор способствует более ускоренному развитию корневой системы и формированию более крупных, плотных луковиц. При его недостатке растения плохо усваивают азот из почвы, резко снижается урожай и качество луковиц. Калий необходим для фотосинтеза и транспортировки пластических веществ по проводящим сосудам к луковице. Недостаток его ведет к преждевременному отмиранию листьев и снижению урожая товарной продукции. Небольшой избыток калия в почве не оказывает отрицательного воздействия на жизнедеятельность и продуктивность луковичного растения. Важное значение для роста и развития растений лука играет кальций. Он способствует росту корней, нейтрализует кислотность почвы и улучшает усвоение фосфора, серы и бора растениями лука. При недостатке этого элемента в почве у растений отмирают листья и в конце-концов они погибают. Помимо азота, фосфора, калия и кальция, лук предъявляет повышенные требования к сере. Этот элемент необходим луковичным растениям для образования ароматических веществ. Поэтому под лук следует применять серосодержащие удобрения – сульфат аммония, сульфат калия.

Внесение высоких норм органических удобрений приводит к усиленному нарастанию вегетативной массы и задерживает вызревание луковиц, поэтому их лучше заделывать под предшественник. Под репчатый лук вносят перегной или перепревший навоз – 40–60 т/га. Нормы минеральных удобрений – $N_{60-90}P_{60-120}K_{60-120}$, в зависимости от степени окультуренности почв и обеспеченности их питательными веществами. Оптимальные нормы удобрений на черноземах $N_{80}P_{80}K_{80}$. Результаты опытов показывают, что лук репчатый использует из минеральных удобрений 60–70 % азота, 20–30 – фосфора и 40–50 % калия. Минеральные удобрения под лук лучше вносить дробно: 60 % нормы фосфорно-калийных удобрений осенью под зяблевую вспашку, остальные – перед посевом и в подкормках; азотные удобрения 30 % при рыхлении почвы перед посевом, остальные – в виде подкормок. Первую подкормку проводят в начале образования луковиц, вторую спустя 20–25 дней. Проведение подкормки позволяет, с одной стороны, избежать высокой концентрации почвенного раствора, а с другой – удовлетворить потребность лука в период наибольшего потребления им питательных веществ.

Лучшими предшественниками для репчатого лука являются ранний картофель, ранняя белокочанная или цветная капуста, огурцы, кабачки, ранние томаты. В полевом севообороте предшественниками могут быть озимые колосовые или кормовые культуры, злаково-бобовые смеси на зеленый корм.

Лук-порей отличается от лука репчатого широкими плоскими листьями, круглым, высотой до 2-х м цветоносом и отсутствием в вегетативном состоянии ярко выраженной луковицы. У лука-порея, как и у лука репчатого, отмечается очень низкая скорость роста в период прохождения ювенильной фазы. При посеве семян в открытый грунт в конце марта интенсивное нарастание вегетативной массы начинается только в июле, при посеве в конце мая – в августе. Росту лука-порея способствует наличие в почве необходимого количества питательных веществ в легкоусвояемой растениями форме. Этому требованию наиболее полно отвечают окультуренные, богатые органическим

веществом почвы с легким или средним гранулометрическим составом. Легкопроницаемые песчаные и супесчаные почвы или тяжелосуглинистые и глинистые почвы для него малопригодны. Лук-порей чувствителен к недостатку кислорода, поэтому следует избегать мест с высоким уровнем стояния грунтовых вод. Эта культура совершенно не переносит даже очень слабокислых почв, на таких почвах и самый богатый агрофон не позволяет получить высокий урожай товарной продукции. На почвах с высоким рН порей развивается щуплым, с жесткими листьями, плохого вкусового качества.

Лук-порей сильно истощает почву. На создание 100 ц товарной продукции он расходует 40 кг азота, 14 – фосфора, 30 – калия и 15 кг кальция. Поэтому высокие урожаи этой культуры удаются лишь на почвах, обеспеченных питательными веществами в достаточном количестве.

Лук-порей отзывчив на органические удобрения и может выращиваться первой культурой после их внесения. Предъявляет довольно высокие требования к азотному питанию и средние – к фосфорному и калийному. В зависимости от плодородия почвы под эту культуру вносят 60–100 т/га навоза или 40–50 т/га перегноя. Примерные нормы минеральных удобрений – $N_{90-120} P_{60-120} K_{60-120}$. Удобрения вносят дробно: 60 % фосфорных и калийных удобрений – под основную и 40 % под предпосевную обработку почвы. Азотные удобрения вносят в три приема: 30 % перед посевом, остальные в виде двух подкормок. Первую подкормку проводят через 10–15 дней после появления всходов или через такой же срок после посадки рассады. Вторую подкормку дают спустя 20–25 дней после первой. Следует иметь в виду, что высокие нормы азотных удобрений повышают урожай порея, но снижают лежкость лука.

Лук-порей хорошо растет после всех овощных культур, за исключением других видов лука. Его в первую очередь следует размещать после ранних овощных культур, под которые также вносят навоз. Поскольку лук-порей обладает сравнительно мощной корневой системой и является хорошим предшественником, он играет важную роль как почвоулучшающая культура.

Лук-батун называют еще дудчатым или песчаным. Это многолетнее, в отличие от других разновидностей лука, очень зимостойкое растение. По вкусу листья батуна несколько хуже, чем перо репчатого лука, но по химическому составу, по содержанию витаминов они близки к нему. Лук-батун образует небольшую луковицу, имеет полые дудчатые листья. Выращивают на одном месте в течение четырех-пяти лет. Лук-батун хорошо растет на суглинистых, супесчаных, и полностью освоенных торфяно-болотных почвах. Плохо растет на тяжелых глинистых и переувлажненных почвах. Возделывается в однолетней и многолетней культуре. Первую срезку производят при достижении растением высоты 20–25 см. Последние срезки делают через 30–35 дней. За сезон проводят 3–4 срезки. Последнюю срезку надо делать не позднее сентября с тем, чтобы растения окрепли перед зимовкой.

Система удобрения лука-батунa складывается из внесения до посева 60–80 т/га перепревшего навоза и подкормок. За сезон вносят $N_{60-120} P_{60-90} K_{60-120}$. Первую ранневесеннюю подкормку проводят после схода снега, последующие после каждой срезки.

Из-за опасности поражения луковой мухой следует избегать возделывания лука-батунa после других культур, относящихся к семейству луковых. Плохие предшественники и растения семейства капустовых. Все остальные культуры, за исключением упомянутых выше, можно считать вполне приемлемыми предшественниками лука-батунa.

Лук-шалот – разновидность лука репчатого, которая видоизменилась в культуре. Основной его отличительной способностью является многодетковость. Луковиц в гнезде бывает, как правило, 2–10 у отдельных форм и более 20. По сравнению с луком репчатым у шалота листья и цветоносы несколько короче и последние не вздутые. Лук-шалот формирует ложное перо и рано созревающие луковички. Широко распространен на Северном Кавказе в частном секторе.

Лук-шалот хорошо растет на легких, богатых органическим веществом почвах. Хорошие урожаи этой культуры можно получить при выращивании его на одном участке до четырех лет. Для шалота оптимальной является нейтральная реакция почвы.

Система удобрения лука-шалота складывается из внесения до посева 80–120 т/га перепревшего навоза и подкормок в норме $N_{60-90}P_{60-120}K_{60-120}$. Первую подкормку проводят в начале фазы образования лукович, вторую – спустя 20–25 дней.

Лучшими предшественниками для лука-шалота являются ранний картофель, огурцы, кабачки. В полевом севообороте предшественниками могут быть озимые зерновые или кормовые культуры, злаково-бобовые смеси, выращиваемые на зеленый корм.

Шнитт-лук – многолетнее растение, образующее мелкие трубчатые листья; луковиц не образует. Отличается сильным ветвлением – на 3–4 й год жизни растение формирует до 100 ветвей с 3–4 листьями каждое. По сравнению с другими видами лука он имеет самые нежные и вкусные листья, но при перерастании они становятся травянистыми.

Шнитт-лук лучше удается на гумусированных суглинистых почвах с рН 6,5–7,0. Высокие урожаи можно получать при его выращивании на одном участке до четырех лет. Однако быстрый рост и хорошее качество продукции возможны только при достаточной обеспеченности растений питательными элементами. Потребность в питательных веществах шнитт-лука удовлетворяют внесением органических и минеральных удобрений. Под эту культуру ориентировочно вносят 60–80 т/га перепревшего навоза в сочетании с $N_{90-120}P_{60-90}K_{90-120}$. Органические удобрения и 60 % дозы фосфорных и калийных туков – под зяблевую вспашку, оставшаяся часть фосфора и калия, а также 30 % запланированной дозы азота – под предпосевную обработку почвы. В период вегетации проводят подкормки азотными удобрениями. Как правило, их вносят в 2–3 приема в зависимости от состояния посевов.

Лучшими предшественниками шнитт-лука являются зернобобовые, озимые, оборот пласта многолетних трав, кукуруза на силос, огурец, корнеплоды, если под них внесено достаточное количество удобрений.

Лук многоярусный – многолетнее растение; размножается путем деления куста и бульбочками, т.е. наземными луковицами, образующимися на семенных стрелках вместо семян. Выращивают для получения нежного зеленого пера (листьев) рано весной. Лучше всего растет на плодородных, суглинистых почвах. На почвах легкого гранулометрического состава с низким содержанием гумуса осенью под основную обработку вносят до 100 т/га полуперепревшего навоза. Ориентировочные нормы минеральных удобрений $N_{90-120} P_{60-120} K_{90-120}$. Фосфорно-калийные и 1/3 азотных удобрений вносят под предпосевную обработку почвы. Оставшуюся часть азотных удобрений дают в подкормку в период вегетации растений: обычно проводят две подкормки – после срезки листьев. Лучшие формы минеральных удобрений для лука – сульфат аммония, простой суперфосфат и сульфат калия. Лук очень чувствителен к хлору; нельзя вносить калийную соль перед посадкой, а тем более в подкормку, лучше это сделать осенью.

Предшественником многоярусного лука может быть любая пропашная культура, под которую вносили навоз. Очень хорошо высаживать многоярусный лук по черному или ранневесеннему пару.

Лук-слизун не имеет острого вкуса, присущего репчатому, и относится к салатным видам лука. У этого растения в пищу используется не только листья, но и ложная луковица.

Лук-слизун – многолетнее растение, на одном месте растет до 5–6 лет, поэтому участок под него подбирают с учетом длительной культуры. Хорошо растет на богатых органическим веществом почвах с легким и средним гранулометрическим свойством. Лук-слизун предпочитает нейтральные почвы с рН 6,4–6,8. На кислых почвах его лучше размещать на второй год после известкования.

Лук-слизун положительно отзывается на внесение органических удобрений. Полуперепревший навоз вносят под зяблевую вспашку из расчета 80–100 т/га. Ориентировочная норма минеральных удобрений $N_{90-120}P_{90-120}K_{90-120}$. Для равномерного снабжения растений питательными веществами минеральные удобрения вносят дробно: под основную обработку почвы $\frac{3}{4}$ всей нормы фосфорных и калийных удобрений, а оставшуюся $\frac{1}{4}$ этих удобрений вносят непосредственно под предпосевную обработку почвы или в подкормках в течение вегетации. Азотные удобрения в силу своей легкой растворимости и возможных потерь вносят в подкормки: $\frac{2}{3}$ их вносят перед посевом под культивацию или боронование, а оставшуюся $\frac{1}{3}$ дают в виде подкормок.

Лучшими предшественниками для лука-слизуна являются такие культуры, которые рано заканчивают вегетацию и под которые вносили органические удобрения. К таковым прежде всего относятся огурцы, кабачки, редис и ранний картофель.

Лук душистый – многолетнее растение; возделывают, как лук-батун; луковицу не образует; листья срезают не более 2-х раз. Лучшие условия для роста и развития растений создаются на почвах с легким и средним гранулометрическим составом. Хорошие урожаи этой культуры можно получить при выращивании на одном участке не более 3–4-х лет. Для душистого лука оптимальной является нейтральная реакция почвы.

Система удобрения для душистого лука складывается из внесения до посева 80–120 т/га перепревшего навоза и подкормок минеральными удобрениями. Первую подкормку дают после схода снега, вторую и третью после срезок. Ориентировочные дозы удобрений для проведения подкормок $N_{30-40}P_{30-40}K_{30-40}$.

В овощном севообороте лучшим предшественником культуры являются ранний картофель, огурцы, кабачки, редис. В полевом севообороте лук душистый размещается по пару или сидератам, по зерновым и зернобобовым культурам.

Чеснок – одно из наиболее требовательных овощных растений к плодородию почвы и, что особенно важно, к уровню грунтовых вод. Для него наиболее пригодны почвы с глубоким пахотным слоем: для озимого чеснока – супесчаные, для ярового средние и легкосуглинистые. Под посадки следует отводить участки, защищенные от северных и северо-восточных холодных ветров и суховеев. На пониженных участках рельефа чеснок вымокает и выпревает, а на подверженных ветровой эрозии – вымерзает и выгорает. На незаливных поймах или поймах рек, пересыхающих в летнее время, чеснок растет хорошо. Яровой чеснок может произрастать и на легких солонцеватых почвах.

Чеснок на 100 ц товарной продукции потребляет 40–50 кг азота, 10–15 – фосфора и 35–45 кг калия. Эта культура очень отзывчива на органические и минеральные удобрения. Непосредственно под него вносят 40–60 т/га перегноя, а под

предшествующую культуру или в пар – навоз крупного рогатого скота или конский 60–80 т/га, свиной 40 т/га, птичий помет 10–15 т/га. Норму внесения минеральных удобрений рассчитывают в соответствии с показателями почвенных картограмм и данными зональных разработок научно-исследовательских учреждений. В целом нормы минеральных удобрений под чеснок такие же, как и под лук репчатый. Примерные нормы удобрений на черноземах $N_{80} P_{80} K_{80}$. Фосфорные и калийные удобрения способствуют лучшему вызреванию луковиц и бульбочек, повышают содержание углеводов и белка в зубках чеснока. Это особенно важно в северных районах культивирования озимого чеснока, поскольку ускоряет осеннее корнеобразование и повышает зимостойкость, а у ярового чеснока – лежкоспособность. Весной, в начале вегетации, когда интенсивно отрастают листья, чеснок больше нуждается в усиленном азотном питании. При осенней посадке половину фосфорно-калийных удобрений вносят под зяблевую вспашку, азотные – в подкормку весной в конце схода снегового покрова. Оставшуюся половину фосфорно-калийных удобрений вносят в подкормку в фазу начала формирования луковиц.

При небольшой площади посадок – до 10 га чеснок размещают в овощном севообороте. Для озимых сортов поле освобождают от предшественника не позже чем за один–полтора месяца до посадки. Лучшие предшественники – бобовые, огурцы, ранняя капуста, корнеплоды подзимнего посева, убранные на пучковый товар, зеленные. Чеснок хорошо растет после раннего картофеля. По луку или чесноку его не следует размещать раньше, чем через четыре года. При больших площадях посева чеснок размещают в полевых севооборотах с орошением, по пару или сидератам, по озимым и гороху на семена.

Зеленные овощные культуры. К наиболее распространенным растениям этой группы относятся салат, кресс–салат, шпинат, пекинская капуста, укроп, щавель, спаржа, ревень, мангольд, эстрагон, эндивий и витлуф. Ценность зеленных культур в значительной степени определяется их скороспелостью. Одни из них дают овощную продукцию рано весной или в первую половину лета, когда еще нет массового поступления овощей из открытого грунта. Другие зеленные культуры могут значительно продлить поступление свежих овощей из открытого грунта за счет доращивания и выгонки их на зелень глубокой осенью и зимой. Большим достоинством их является то, что они очень богаты витаминами. В листьях растений этой группы содержатся почти все известные витамины. Они наиболее богаты аскорбиновой кислотой, витамином Р и каротином.

Салат. Листья его богаты витаминами, минеральными солями и органическими кислотами, салат содержит горьковатый млечный сок – лактукарий, который, действуя успокаивающе на нервную систему, улучшает сон и снижает повышенное кровяное давление.

Различают три разновидности салата: листовый, кочанный и ромэн. Листовой образует розетку листьев, которая и используется в пищу. Кочанный салат на первых этапах образует розетку листьев, а затем формирует рыхлый кочан. Ромэн образует кочан обратнойцевидной или овальной формы. На Кубани известны листовые и кочанные сорта.

Обладая поверхностной корневой системой, салат предъявляет особые требования к структуре и плодородию почвы. Наиболее пригодны для этой культуры суглинистые и супесчаные почвы среднего гранулометрического состава; тяжелые и склонные к заплыванию почвы менее благоприятны. Салат очень плохо переносит даже небольшую кислотность почв и физиологически кислые

удобрения; для него оптимальная рН 6,8–7,2. Он очень чувствителен к повышенной концентрации солей: уже при содержании солей 0,3–0,4 % (200 мг КСl/100 г почвы) можно ожидать повреждений. Поэтому салат является хорошим тест-объектом на повышенную концентрацию солей в почве.

Для салата, характеризующегося коротким периодом вегетации, важное значение имеет обеспеченность почвы питательными веществами исключительно в легкоусвояемой форме. На создание 100 ц продукции эта культура расходует 22 кг азота, 10 – фосфора и 44 кг калия. Для удовлетворения потребности в элементах питания применяют удобрения. Салат хорошо реагирует на азотные удобрения, особенно на почвах, обеспеченных другими питательными веществами. Избыток азота на бедных слабокультуренных почвах может вызвать угнетение растений, а у кочанного салата – рыхлость кочанов. Азотные подкормки салата лучше проводить в начале интенсивного роста растений и прекращать не позднее чем за месяц до уборки урожая. При запоздалых подкормках имеет место накопление нитратов в товарной части продукции. По нормативу Всемирной организации здравоохранения допустимая суточная доза нитратов для человека – 5 мг/кг его массы. Допустимые Минздравом Российской Федерации уровни нитратов в зеленых овощах – до 2000 мг/кг зеленой массы.

Из-за слабого развития корневой системы салат плохо использует почвенный фосфор и нуждается во внесении фосфорных удобрений, даже на хорошо обеспеченных подвижным фосфором почвах. При посеве салата рядковое удобрение гранулированным суперфосфатом значительно повышает всхожесть семян и способствует наилучшему развитию корневой системы.

Калий улучшает питание салата, поэтому применение калийных удобрений необходимо на среднекультуренных, а также легких почвах и торфяниках. Салат обычно помещают второй культурой по навозному удобрению. Ориентировочные нормы минеральных удобрений на черноземах – $N_{60-90}P_{60-90}K_{40-60}$, на дерново-подзолистых почвах – $N_{90-120}P_{60-80}K_{60-90}$. Полную норму фосфорно-калийных и половину азотных удобрений вносят под предпосевную обработку почвы, оставшуюся половину запланированной дозы – в подкормку.

Лучшие предшественники салата – овощи, под которые применяли органические удобрения. Культуры, возделываемые перед салатом, не должны иссушать почву, поэтому предприятия, не имеющие систем орошения, не возделывают салат, поскольку последний уже в фазе рассады чувствителен к влажности почвы. Салат неплохо переносит повторные посевы, но лучше размещать его на прежнем месте не раньше чем через год, чтобы избежать массового распространения передающихся через почву болезней и вредителей.

Шпинат – скороспелая и очень ценная по питательным достоинствам овощная культура. Шпинат богат белком, солями железа, фосфора и кальция. Хлорофилл, содержащийся в шпинате, по химическому составу близок к гемоглобину крови. Благодаря содержанию в листьях секретина, шпинат благотворно действует на деятельность желудка. Кроме того, он содержит фолиевую кислоту, которая вместе с солями железа оказывает эффективное действие при малокровии.

Корневая система у шпината слабо развитая и располагается на глубине 20–25 см. Поэтому эта культура хорошо растет только на богатых органическими веществами, плодородных, обеспеченных влагой не кислых почвах. На сильнокислых почвах растения гибнут. В то же время на карбонатных, а также известкованных почвах шпинат может страдать от недостатка железа. При коротком вегетационном периоде – 65–70 дней шпинат при урожайности

250 ц/га потребляет 73 кг азота, 36 – фосфора и 105 кг калия. По уровню потребления питательных веществ за сутки шпинат намного превосходит поздние овощные культуры. Поэтому в почве должно быть достаточное количество азота, фосфора и калия, в усвояемой растениями форме, а из микроэлементов должен присутствовать бор. Содержание азота в корнеобитаемом слое почвы должно соответствовать требуемым нормам прироста и допустимому содержанию нитратов в продукции (рис. 91; Круг Г., 2000).

Рис. 91. Влияние обеспечения азотом растений шпината на урожай и содержание нитратов

Высокий прирост листовой массы можно обеспечить внесением азота не менее 250 кг/га. Содержание нитратов в продукции при таких нормах может составлять 3000 мг/кг, тогда как предельно допустимая концентрация составляет 2000 мг/кг. Так как нельзя допустить превышения содержания нитратов ПДК, нормы внесения азота следует уменьшить с 200–250 до 100–150 кг/га. При этом максимально возможный урожай снижается на 40 %. Содержание нитратов в определенной степени можно регулировать не только изменением норм, но сроков внесения. На почвах с высокой сорбционной способностью азот можно вносить всей дозой за неделю до посева. При использовании почв с низкой сорбционной способностью следует учитывать, что шпинат в фазе всходов солечувствителен, поэтому перед посевом азот вносят не больше 100 кг/га, а оставшуюся часть – в фазе третьего настоящего места. Дробное применение азотных удобрений способствует повышению содержания нитратов в урожае, особенно когда часть из них вносят непосредственно перед уборкой для придания растениям темно-зеленого цвета. При зимнем возделывании 30 % азота вносят осенью, остаток – весной при отрастании.

При потреблении шпината необходимо помнить, что нитраты накапливаются преимущественно в сосудистых пучках, поэтому их больше всего в стеблях и листовых черешках. Нитраты как таковые не оказывают непосредственного воздействия на человека и животных. Вредоносность проявляется при бактериальном восстановлении нитратов во время транспортировки или хранения в свежем либо переработанном виде. Опасность заключается в том, что при восстановлении нитратов до аминов или амидов образуются канцерогенные нитрозоамины и нитрозоамиды.

Фосфорные удобрения вносят осенью под основную обработку почвы, а калийные туки предпочтительнее вносить весной в хлоридной форме под предпосевную обработку. Нормы минеральных удобрений под шпинат необходимо дифференцировать в зависимости от окультуренности почвы и ее обеспеченности питательными элементами. На дерново-подзолистых почвах вносят удобрения из расчета $N_{90-120}P_{40-60}K_{90-120}$; на черноземах – $N_{60-120}P_{60-80}K_{60-90}$, на пойменных землях – $N_{60-120}P_{40-60}K_{120-150}$. Учитывая короткий период вегетации этой культуры и ее склонность к накоплению нитратов, проводят лишь ограниченное число подкормок – один, редко два раза. Подкормки обычно проводят азотно-калийными удобрениями. Подкармливают, как правило, озимые посадки шпината. Этот агроприем выполняют один раз рано весной, сразу после схода снега.

В севооборотах шпинат размещают на высокоплодородных участках после культур, под которые вносили органические удобрения. При выборе предшественника важно выдержать определенный промежуток времени: при возделывании шпината по шпинату или при наличии в севообороте сахарной свеклы и других маревых возможно заражение свекольной нематодой и желтухой свеклы. Не рекомендуется размещать посеvy шпината и по картофелю из-за возможности поражения нематодой.

Кресс-салат в отличие от обыкновенного огородного салата является пряным, острым, возбуждающим аппетит растением. Существует три вида кресс-салата: ранний, с расчлененными листьями, среднеранний с цельными и широкими долями листьев и кудрявый. По скороспелости кресс-салат опережает все другие виды зеленных овощных культур. В пищу используются листья розетки и нижние стеблевые листья вместе с молодым стеблем. В листьях кресс-салата содержатся аскорбиновая кислота, каротин, рутин, а также витамины группы В. Они богаты железом, солями калия, кальция и фосфора, содержат иод и другие минеральные вещества, необходимые человеку.

Кресс-салат выращивают на любых почвах, но лучше он растет на легких, плодородных, хорошо заправленных органическими удобрениями почвах. В качестве органического удобрения под кресс-салат чаще вносят под зяблевую вспашку 30–40 кг/га перепревшего навоза. Под эту культуру основное минеральное удобрение не вносят. Для получения качественной продукции растения подкармливают азотными удобрениями. Для этих целей чаще используют аммонийную селитру. Ориентировочная норма удобрения N_{20-40} . Для непрерывного получения свежей зелени кресс-салат рекомендуется сеять повторно через каждые 10–12 дней. Выращивать его можно самостоятельной культурой, в качестве уплотнителя промежуточной культуры.

Укроп – однолетнее скороспелое, пряное зеленное растение с мощным стержневым корнем. В пищу используют молодые листья и стебли. Пищевые качества укропа заключаются в высоком содержании фолиевой кислоты, витаминов С, В, В₂, РР, Р, провитамина А, а также солей калия, кальция фосфора и железа в легкоусваиваемой форме.

Укроп – сравнительно малотребовательная культура к почвенному плодородию и удобрениям. Хорошо растет на легкосуглинистых и супесчаных почвах.

Ориентировочные нормы удобрений: навоз – 30–40 т/га, $N_{60-80}P_{40-60}K_{60-90}$. Одну треть азотно-калийных удобрений целесообразно давать в подкормку. При выращивании укропа на раннюю зелень весной полезно провести азотную подкормку, а для получения укропа на засолку желательно дополнительно усилить фосфорно-калийное питание растений.

Повторные посевы как по укропу, так и по другим зонтичным можно проводить не раньше чем через 4–5 лет. Наиболее опасным является поражение грибом *Fusarium culmorum*, которое имеет очаговый характер или появляется на больших площадях и может уничтожить целые посевы укропа.

Многолетние овощные культуры. К многолетним овощным культурам относятся ревень, щавель, спаржа, хрен, артишок, эстрагон и катран. Они зимуют в открытом грунте, имеют большой запас питательных веществ в корневищах и хорошо развитых корнях, а также зимующие почки и поэтому быстро развиваются весной и дают нужную продукцию. Поскольку эти культуры растут на одном месте несколько лет, для них подбирают богатые по плодородию почвы, защищенные от холодных ветров, с небольшим южным склоном, без застоя весенних и дождевых вод.

Хрен – в первый год образует розетку листьев, а на второй – цветоносный побег высотой до 1,5 м. Хрен выращивают ради утолщенных корней, называемых подземными побегами. В пищу используют корневища хрена как очень острую приправу к различным блюдам. В 100 г свежих корневищ содержится 79 мг натрия, 579 – калия, 119 – кальция, 35,3 – магния, 2,00 – железа, 0,14 – меди, 70 – фосфора, 212 – серы, 18,8 мг хлора, до 200 мг % витамина С, а также фитонциды, предохраняющие организм человека от заболеваний.

Хрен может расти на малоплодородных почвах, но высокие урожаи получают только на хорошо окультуренных участках, расположенных вблизи водоема. Для возделывания этой культуры непригодны почвы песчаные, глинистые тяжелого гранулометрического состава, дерново-подзолистые с неглубоким пахотным слоем, расположенные на водоразделах, заливных поймах и в низинах. Хрен выращивают на специально отведенном участке, так как при копке невозможно выбрать все корневища и происходит засорение почвы.

Участок под хрен подготавливают с осени. Под глубокую зяблевую вспашку (27–29 см) вносят 40–50 т полуперепревшего навоза. Если осенью навоз внести не удалось, то ранней весной под перепашку зяби дают 30–40 т/га перегноя и минеральные удобрения в нормах $N_{90-120}P_{60-90}K_{60-90}$. Первую междурядную обработку посевов хрена сочетают с подкормками минеральными удобрениями. В первую подкормку вносят 40–50 кг/га аммонийной селитры, 75–100 – простого суперфосфата и 40–50 кг/га калийной соли, во вторую подкормку, которую совмещают с окучиванием, дозы удобрений удваивают. Следует иметь в виду, что при одностороннем удобрении азотом урожайность хрена снижается. Дозы минеральных удобрений корректируют в соответствии с данными агрохимического анализа почвы. Хрен размещают в полях овощного или овощекормового севооборота или же выделяют участки вне севооборота для последующего многолетнего использования плантации при выращивании поросли. Лучшие предшественники для хрена – огурец, томат, столовая свекла, ранний картофель и другие культуры, рано освобождающие поле, чтобы можно было провести своевременную подготовку почвы и внесение основного удобрения.

Катран – в диком виде встречается в большом количестве в предгорных районах Крыма и Кавказа. В 1973 г. он впервые был районирован в Крыму. По вкусовым качествам катран не отличается от хрена. Его мясистые корни издавна употребляют в пищу в сыром и консервированном виде, добавляют в соусы, салаты, и используют при засолке огурцов и томатов. Весной молодые побеги и листья применяют как спаржу или салат.

Катран неприхотлив, хорошо приспособляется к почвенно-климатическим условиям, что облегчает введение его в культуру. В отличие

от обычного хрена, катран размножается семенами. Хорошо растет на окультуренной, богатой органическими веществами суглинистой почве. Кислые почвы для выращивания катрана непригодны. Оптимальная реакция почвенного раствора (рН) – около 6,5–7,0.

Катран отзывчив на удобрения. Под зяблевую вспашку желательнее внесение полуперепревшего навоза из расчета 40–60 т/га. Минеральные удобрения применяют в соответствии с типом почвы и картограммой. Ориентировочная норма – $N_{60-90}P_{60-120}K_{60-120}$. Минеральные удобрения вносятся в три приема. Половину запланированной нормы удобрений вносят перед посевом под предпосевную обработку почвы. Оставшуюся часть удобрений дают в две подкормки. Первую подкормку проводят через неделю после прореживания растений. В фазу 3–4 листьев растения подкармливают вторично. В первую подкормку вносят $N_{30}P_{30}K_{30}$, а вторую – $N_{15}P_{30}K_{30}$ т.е. дозу азота снижают наполовину.

Лучшие предшественники для катрана – рано убираемые овощные растения, кроме семейства капустовых. В овоще-травопольных севооборотах его размещают на третий год после трав, хорошо растет катран после озимых зерновых, бобовых и раннего картофеля.

Ревень – многолетнее овощное растение; растет на одном месте до 15 лет. В пищу используют черешки, в которых содержатся ценные органические кислоты – яблочная и лимонная (1,58–2,60 %), витамины С, Р, минеральные соли калия, фосфора, магния. Может хорошо расти на кислых почвах при рН 4,5–5,0. Оптимальное значение рН для него 6,5–7,0.

Ревень требователен к уровню плодородия почвы; наиболее пригодны богатые гумусом, средние по гранулометрическому составу почвы с уровнем стояния грунтовых вод от 0,8 до 1,5 м. Он выносит из почвы в годы высокой урожайности до 230–250 кг/га азота, 80–100 фосфора и 200–230 кг/га калия. Причем, большая часть выносится весной – в период отрастания листьев и первого сбора. Для хорошего роста листьев необходимо применять органические удобрения и подкормки минеральными туками. Масса листьев вместе с черешками, отчуждаемая от растения, очень велика. За один сбор она составляет примерно 12 т/га, а за все сборы с середины мая до июля – около 65 т/га. Поэтому без систематического внесения удобрений урожайность ревеня быстро падает.

Навоз вносят под зяблевую вспашку из расчета 80–100 т/га; минеральные удобрения – в нормах $N_{90-150}P_{80-100}K_{150-250}$ в зависимости от содержания в почве питательных веществ. Вся норма фосфорных, 1/3 азотных и калийных удобрений вносятся перед посевом, а оставшаяся часть – в подкормки. Подкормку дают весной – по отрастающим листьям, вторую через две недели, третью – осенью после последнего сбора черешков. Раз в три года в междурядья вносят весной 20–30 т/га навоза или компоста и заделывают культиватором на глубину до 15 см.

Как культура, возделываемая длительное время на одном месте, ревень предъявляет особых требований к севообороту, но из-за возможности заражения красной гнилью корней его не стоит выращивать после люцерны. Под ревень следует избегать участков, зараженных нематодой. На прежнем месте его возделывают не раньше чем через пять лет. Со второго года жизни ревень хорошо подавляет сорняки, поэтому его используют как первую культуру после распашки лугов.

Щавель. В пищу у щавеля используют молодые листья, из которых варят свежие щи или консервируют. Специфический кислый вкус щавеля объясняется наличием в нем щавелевой, яблочной, лимонной, янтарной и салицило-

вой кислот. Щавель одна из первых весенних культур в большинстве районов нашей страны. В листьях щавеля содержатся витамины С, А, В, В₂, РР, соли калия и железа. Щавель хорошо растет на почвах разного генетического происхождения, легко- и среднесуглинистых, не песчаных по гранулометрическому составу, богатых органическими веществами; не требователен к реакции почвенного раствора. Для него одинаково подходят как кислые почвы с рН 4,5–5,5, так и нейтральные. На создание 100 ц урожая щавель потребляет 45 кг азота, 15–20 – фосфора и 45–55 кг калия.

Щавель плохо растет по свежему навозному удобрению, поэтому свежий навоз запахивают осенью на полную глубину пахотного слоя. Оптимальная норма навоза 40–50 т/га. Минеральные удобрения вносят из расчета $N_{90-120}P_{60-80}K_{60-90}$. Весной после каждого сбора растения подкармливают азотными удобрениями (1–1,5 ц/га аммонийной селитры или сульфата аммония). Для лучшей перезимовки осенью целесообразно подкормить щавель фосфорно-калийными удобрениями (2 ц/га простого суперфосфата и 1,0–1,5 ц/га хлористого калия).

Лучший предшественник для щавеля – многолетние травы. При краткосрочном использовании посевов щавель включают в специализированные севообороты, где в качестве предшественников могут быть любые овощные скороспелые культуры, убираемые в середине лета.

Артишок. Выращивают артишоки для получения соцветий – корзинок. В пищу используют мясистое цветоложе и сочные концы наружных чешуй обертки соцветий. Эти части растений, употребляемые в вареном или консервированном виде, – ценный пищевой и диетический продукт. В соцветиях артишока содержится 0,4 мг/% каротина, 0,15 – витамина В₁; 0,005 – В₁₂; 11 мг/% С; 0,1 г жира; 2,0 – белка и 7,5 г углеводов на 100 г сырой массы.

Артишоки лучше всего растут на суглинистой почве, хорошо удобрены навозом или перегноем. Пахотный слой почвы должен иметь толщину не менее 20–25 см. С осени вносят 80–100 т/га навоза или перегноя и производят вспашку под зябь. Минеральные удобрения применяют из расчета $N_{100-140}P_{90-120}K_{80-180}$. Осенью под зяблевую вспашку вносят 75 % фосфорно-калийных удобрений, а перед посевом всю норму азотных удобрений и остальную часть фосфорно-калийных. При необходимости через две недели после посадки растения подкармливают минеральными удобрениями. Ориентировочные дозы $N_{30-40}P_{40-50}K_{30-40}$.

Эстрагон. В пищу используют листья и молодые побеги эстрагона с сильным пряным запахом и острым вкусом. Их употребляют в сыром виде как салат, как пряную приправу к мясным блюдам и соусам, а также как специи для солки и маринования огурцов, томатов. В 100 г сырой массы листьев эстрагона содержится 70 мг аскорбиновой кислоты, 6,8 каротина, 170 мг рутина.

Эстрагон выращивают на одном месте 5–7 лет. Эта культура неприхотлива, но лучше растет на плодородных почвах легкого гранулометрического состава. Для него не подходят тяжелосуглинистые и глинистые почвы. При возделывании эстрагона следует избегать избыточного внесения азотных удобрений: это может снизить содержание эфирных масел в растениях. Вкусовые качества его улучшают фосфорные и калийные удобрения.

Участок под эстрагон готовят осенью перед закладкой плантации: вносят 40–50 т/га перепревшего навоза и производят глубокую зяблевую вспашку. Через каждый год выращивания в междурядья вносят перегной из расчета 20–30 т/га и заделывают культиваторами. Минеральные удобрения вносят перед посевом из расчета $N_{50-70}P_{70-90}K_{40-70}$. Подкормку проводят во второй и последующие годы ранней весной минеральными удобрениями: $N_{40-60}P_{50-90}K_{40-50}$.

Спаржа. В пищу у спаржи употребляются молодые, нежные этиолированные (белые) подземные или зеленые надземные побеги, развивающиеся из почек на корневищах. В ее побегах содержится провитамин А, витамины В₁, В₂, С, РР, минеральные соли кальция, железа, фосфора, а также белковые вещества и аспарагин.

Лучшими для спаржи являются легкие, богатые органическим веществом, хорошо обогреваемые солнцем, почвы с глубоким пахотным слоем. Хорошо размещать спаржу на пойменных почвах со сравнительно высоким стоянием грунтовых вод. Реакция почвенного раствора должна быть близкой к нейтральной или слабощелочной. Спаржу разводят семенами, и иногда, делением корневищ.

Система удобрения спаржи предусматривает применение органических и минеральных удобрений. Навоз вносят из расчета 50–60 т/га под зяблевую вспашку. Норма азота составляет 130 кг/га, из них 80 кг/га вносят перед посевом или после появления всходов, а 50 кг/га – в качестве подкормки. Одновременно с азотными перед посевом вносят фосфорные и калийные удобрения из расчета Р_{90–150}К_{80–100}. На второй год перед выгонкой почву рыхлят и одновременно вносят минеральные удобрения в дозах N_{30–60}Р_{30–45}К_{30–45}. На третий год, в начале сбора урожая проводят подкормки – N_{30–60}Р_{30–60}К_{40–60}. После окончания сбора урожая растения окучивают и вносят минеральные удобрения из расчета N₆₀Р₆₀К₆₀.

Вследствие длительного времени возделывания спаржу нельзя включать в обычные севообороты. Предшественники должны оставлять землю в хорошем состоянии, позволять проводить осенью перед посадкой глубокую обработку и использовать зеленое удобрение. Хорошие предшественники – ранний и среднеранний картофель, горох и фасоль.

Бахчевые культуры. К бахчевым растениям относят арбуз, дыню и тыкву. Общие признаки, объединяющие эти растения в одну группу, – стелющиеся стебли, высокая требовательность к теплу, свету, почве.

Арбуз предпочитает легкие, хорошо прогреваемые, с достаточным запасом питательных веществ нейтральные или слабощелочные почвы. Он устойчив к почвенному засолению.

Оптимальные нормы удобрений для арбуза определяют с учетом выноса из почвы элементов питания. На формирование 1 кг товарной продукции растение арбуза расходует 2,08–2,87 г азота, 0,56–0,62 – фосфора и 2,16–3,08 г калия. Фосфорные удобрения больше требуются в начальный период роста и развития растений. Азотно-калийные – влияют на образование генеративных органов – женских цветков. Избыток азота задерживает формирование цветков. Калий способствует ускорению созревания, особенно влияет на характер плодообразования. Фосфорно-калийные удобрения улучшают качество плодов арбуза и содержание в них сахара. Отсутствие мезоэлементов кальция и железа в почвенном растворе снижает усвояемость растениями фосфора.

Система удобрения арбуза включает органические и минеральные удобрения. Перегной или перепревший навоз вносят из расчета 20–30 т/га в сочетании с минеральными удобрениями – N₅₀Р₈₀К₄₀. На Северном Кавказе чаще практикуется выращивание арбузов без внесения органических удобрений. В таких случаях годовая норма минеральных удобрений составляет N_{100–150}Р_{150–200}К_{60–80}. Это количество, как правило, вносится в три приема: в качестве припосевного удобрения вносится Р_{50–70}. Азотно-калийные и оставшаяся часть фосфорных удобрений дают в две подкормки. При первой подкормке вносят N_{50–75}Р_{50–70}К_{30–40}, второй – N_{50–75}Р_{50–60}К_{30–40}.

Лучшими участками под арбузы считаются целина и многолетняя залежь. При распашке целинных земель и введении их в севообороты лучшими предшественниками арбуза являются пласт многолетних трав, оборот пласта, а также озимые культуры, идущие по удобренным черным парам. Если же озимые высевались после пропашных культур, то лучшим предшественником для арбуза будут яровые зерновые, а не озимые.

Дыня. Не переносит плохо аэрируемые почвы, поэтому не удается на тяжелосуглинистых и глинистых почвах плотного сложения. Она лучше всего развивается на легких по гранулометрическому составу супесчаных и легких суглинистых почвах. Дыня более требовательная к условиям питания, чем арбуз. Поэтому ее лучше выращивать на сравнительно плодородных почвах. На создание 1 кг товарной продукции дыня расходует в среднем 1,12 г азота, 0,58 – фосфора и 2,95 г калия.

На посевах дыни наиболее эффективно сочетание минеральных и органических удобрений. Из органических удобрений под эту культуру вносят перепревший навоз или перегной. Органические удобрения вносят под зяблевую вспашку из расчета 50–60 т/га, а в сочетании с минеральными на плодородных черноземных почвах норму сокращают до 20–30 т/га. Минеральные удобрения, внесенные в полной норме, по эффективности не уступают органическим. Нормы минеральных удобрений зависят от плодородия почвы и величины планируемого урожая. Для черноземных почв Северного Кавказа ориентировочные нормы $N_{70-90}P_{60-100}K_{30-50}$, пойменных почв – $N_{50-60}P_{60-100}K_{30-50}$. При сочетании минеральных удобрений с органическими количество компонентов уменьшают примерно в два раза. Всю норму калийных, половину – фосфорных и азотных удобрений рекомендуется вносить осенью под основную обработку почвы, а оставшиеся азотные и фосфорные удобрения используют для местного внесения при посеве (особенно фосфор), и для подкормок.

Лучше высевать дыню на целинных и залежных землях. На старопахотных землях хорошими предшественниками для этой культуры являются многолетние травы, озимые и яровые зерновые культуры. На Северном Кавказе хорошие результаты показало выращивание дыни после кукурузы на силос. Возможно ее возделывание в овощном, кормовом, полевом и рисовом севооборотах.

Тыква – светлюбивое растение. Для нее отводят участки, хорошо освещаемые солнцем и в то же время защищенные от холодных ветров. Для тыквы необходимы структурные плодородные почвы, богатые перегноем, с большим запасом питательных веществ. Эта культура предпочитает черноземы и темно-каштановые почвы с высоким содержанием гумуса. Тыква не выносит кислых почв, более устойчива к почвенному засолению, чем арбуз и дыня. Весьма отзывчива она на внесение органических удобрений.

Тыква отличается высокими темпами нарастания массы, в результате чего у нее повышенная потребность в питательных элементах. На образование урожая 2 кг она в среднем потребляет 3,2 г азота, 5,2 – фосфора и 3,2 г калия. Из бахчевых культур тыква – самая отзывчивая на внесение органических удобрений. Лучшее органическое удобрение для нее – перепревший навоз. Можно использовать также перегной. Норма внесения навоза 50–100 т/га, перегноя 30–40 т/га. На тяжелых и бесструктурных почвах вносят большие, на легких – меньшие нормы. Нормы минеральных удобрений под тыкву устанавливают в зависимости от содержания элементов минерального питания в почве. На черноземах ориентировочные нормы минеральных удобрений: $N_{90-120}P_{100-140}K_{50-70}$, на пойменных почвах: $N_{60-100}P_{80-120}K_{40-60}$. Калийные и половину фосфорных удобрений вносят

обычно под основную обработку почвы, а оставшиеся фосфорные и азотные удобрения используют перед посевом и на подкормки. Как правило, проводят две подкормки: первую в фазе 3–5 листьев, вторую – в начале образования плетей.

Лучшими предшественниками для тыквы являются картофель, капуста и бобовые культуры.

Картофель. Картофель довольно неприхотлив к почвенным условиям, но наиболее предпочтительны для него плодородные, хорошо дренированные рыхлые почвы с мощным пахотным слоем, богатые органическими веществами и элементами минерального питания в легкоусвояемой форме. Картофель легко переносит кислотность почвы; оптимум значений pH 5,0–6,0.

Корневая система картофеля развита слабо и сосредоточена в основном в пахотном слое почвы. У средне- и позднеспелых сортов она проникает глубже по сравнению с раннеспелыми.

На ранних этапах развития корневая система картофеля плохо усваивает труднорастворимые питательные вещества из почвы. Это обуславливает повышенную отзывчивость картофеля на внесение удобрений. В оптимальных условиях возделывания на каждые 100 ц клубней картофель выносит из почвы 40–60 кг азота, 15–20 – фосфора, 60–80 – калия, 40 – кальция и 20 кг магния. Питательные вещества усваиваются картофелем в течение всего вегетационного периода растений. Наибольшее количество их поглощается растениями в период усиленного прироста надземной вегетативной массы – в фазы бутонизации и цветения. Ко времени цветения потребляется до 50 % азота, 40 – фосфора и 80 % калия от максимального содержания их в растениях. Следовательно, удобрения необходимо вносить до и при посадке картофеля.

Потребность в азоте у картофеля проявляется с начала прорастания клубня, образования корневой системы и ростков. Если на первых этапах формирования корней новообразование клеток обеспечивается азотом из запаса клубней, то для роста стеблей с выходом их на поверхность почвы этих запасов недостаточно и растение поглощает необходимое количество азота из почвы через корневую систему. Хорошая обеспеченность картофеля на ранних этапах развития растений – от появления всходов до клубнеобразования способствует быстрому формированию мощного фотосинтетического аппарата. Это дает растению возможность продуктивнее использовать весенние запасы влаги в почве и формировать урожай клубней в более благоприятных температурных условиях. Однако нельзя допускать избыточного одностороннего питания растений азотом. При этом усиливается рост ботвы, задерживается отток углеводов в клубни, тормозится их рост и накопление крахмала.

На эффективность азотных удобрений влияет обеспеченность почвы усвояемым фосфором и калием. Оптимизация фосфорного питания картофеля способствует развитию более мощной корневой системы, ускоряется процесс развития и созревание клубней. Недостаток фосфора нарушает нормальное развитие картофельного растения: понижается ветвистость куста, у листьев преобладает тускло-зеленый или бронзовый оттенок, бутонизация и цветение задерживаются на 3–5 дней, на клубнях появляются коричневые пятна. Поэтому наибольшее значение фосфор имеет на ранних стадиях, когда идет интенсивное наращивание листовой поверхности растений, что определяет будущий урожай. Использование его картофелем происходит сравнительно равномерно на протяжении всей вегетации.

Калийное питание картофеля имеет большое значение как в период формирования фотосинтетического аппарата, так и во время образования и роста

клубней. Калий способствует более интенсивному усвоению углекислоты листьями, ускоряет передвижение углеводов из листьев в клубни, повышает содержание воды в клетках растений, что увеличивает засухоустойчивость растений. При внесении калийных удобрений картофель становится более устойчивым к потемнению мякоти клубней и к болезням. Оптимальное содержание калия в наиболее фотосинтетически активных листьях растений составляет в фазу всходов 4,0–5,2 % бутонизации – 4,1–5,6 %, в физиологически зрелых клубнях – 2,7–3,1 % сухой массы.

Картофель хорошо отзывается на внесение навоза в норме 30–40 т/га, который усиливает питание во второй половине вегетации вследствие его минерализации. Минеральные удобрения на черноземах в Краснодарском крае и Республике Адыгея вносят в количестве $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$. Фосфор и калий применяют осенью под вспашку, азот весной под культивацию. Эффективно локальное внесение удобрений при посадке в дозе $N_{20}P_{20}$.

Лучшими предшественниками для картофеля являются зернобобовые, озимые, оборот пласта многолетних трав, кукуруза на силос, капуста, огурец, корнеплоды, если под них внесено достаточное количество органических удобрений.

11.5.6.1. Системы удобрения в овощных севооборотах

Примерные системы удобрения в овощных севооборотах, при орошении и без орошения, зерноовощном и зернокартофельном севооборотах, по данным А.И. Столярова (Кубанский государственный аграрный университет и Краснодарский научно-исследовательский институт овощного и картофельного хозяйства), приведены в таблицах 195–198. В этих схемах показаны дозы основного, припосевного удобрения и подкормок с учетом почвенно-климатических условий и особенностей питания возделываемых культур. В зависимости от предшественника и его удобрённости дозы удобрений под культуру изменяют.

Основное удобрение вносится с осени под зяблевую вспашку. При этом вносится органическое удобрение и половина или 2/3 нормы фосфорных и калийных удобрений. Азотные удобрения лучше вносить весной и в подкормки.

Таблица 195 – Примерная система удобрения в овощном севообороте при орошении

№ поля	Культура	Основное удобрение	Предпосевное (предпосадочное) удобрение	При посеве (посадке)	Подкормки	Всего
1	Многолетние травы	$N_{40}P_{60}K_{40}$	–	–	–	$N_{40}P_{60}K_{40}$
2	Многолетние травы	–	–	–	$P_{30}K_{30}$	$P_{30}K_{30}$
3	Капуста белокочанная поздняя	$P_{60}K_{50}$	$N_{20}P_{20}K_{20}$	$N_{20}P_{20}K_{20}$	$N_{80}P_{20}K_{20}$	$N_{120}P_{120}K_{100}$
4	Томат (безрассадная культура)	$P_{60}K_{40}$	$N_{60}P_{30}K_{30}$	–	$N_{60}P_{30}K_{30}$	$N_{120}P_{120}K_{100}$
5	Огурец (грунтовая культура)	Навоз 30 т/га + $P_{50}K_{50}$	$N_{50}P_{20}K_{20}$	–	$N_{40}P_{20}K_{20}$	Навоз 30 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$
6	Лук, чеснок	$P_{40}K_{40}$	$N_{40}P_{20}K_{20}$	–	$N_{40}P_{20}K_{20}$	$N_{80}P_{80}K_{80}$
7	Картофель весенней посадки	Перегной 40 т/га + $P_{50}K_{50}$	$N_{60}P_{20}K_{20}$	–	$N_{30}P_{20}K_{20}$	Перегной 40 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$
8	Корнеплоды	$P_{40}K_{40}$	$N_{50}P_{20}K_{20}$	–	$N_{30}P_{20}K_{20}$	$N_{80}P_{80}K_{80}$
9	Капуста белокочанная ранняя + зеленные	$P_{50}K_{50}$	–	–	$N_{90}P_{30}K_{30}$	$N_{120}P_{100}K_{100}$
10	Томат	$P_{60}K_{50}$	$N_{60}P_{30}K_{30}$	–	$N_{60}P_{30}K_{30}$	$N_{120}P_{120}K_{100}$

Таблица 196 – Примерная система удобрения в зерноовощном севообороте без орошения

№ по-ля	Культура	Основное удобрение	Предпосевное удобрение	Подкормки	Всего
1	Многолетние травы	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	–	–	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀
2	Многолетние травы	–	–	P ₃₀ K ₃₀	P ₃₀ K ₃₀
3	Озимая пшеница	–	P ₃₀ K ₃₀	N ₄₀	N ₄₀ P ₃₀ K ₃₀
4	Томат	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
5	Кукуруза овощная	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀
6	Озимая пшеница	Навоз 30т/га +N ₆₀ P ₇₀ K ₆₀	–	N ₃₀	Навоз 30т/га + N ₉₀ P ₇₀ K ₆₀
7	Томат	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
8	Горох овощной	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	–	–	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀
9	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₇₀ K ₆₀	–	N ₃₀	N ₉₀ P ₇₀ K ₆₀
10	Томат	Навоз 40т/га +N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	Навоз 40т/га +N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
11	Озимые колосовые	N ₆₀ P ₇₀ K ₆₀	–	N ₃₀	N ₉₀ P ₇₀ K ₆₀

Таблица 197 – Примерная система удобрения в овощном севообороте для центральной и западной зон Краснодарского края

№ по-ля	Культура	Основное удобрение	Предпосевное (предпосадочное) удобрение	При посеве (посадке)	Подкормки	Всего
1	Многолетние травы	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	–	–	–	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀
2	Многолетние травы	–	–	–	P ₃₀ K ₃₀	P ₃₀ K ₃₀
3	Томат (рассадная культура)	P ₅₀ K ₅₀	–	N ₄₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₄₀ P ₂₀ K ₃₀	N ₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
4	Огурец	P ₄₀ K ₄₀	N ₅₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₄₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
5	Лук, чеснок	P ₅₀ K ₅₀	N ₅₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₃₀ P ₁₀ K ₁₀	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀
6	Томат	P ₆₀ K ₅₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	–	N ₆₀ P ₃₀ K ₂₀	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₀₀
7	Капуста белокочанная среднепоздняя, поздняя	Навоз 50 т/га + P ₃₀ K ₃₀	P ₃₀ K ₃₀	N ₂₀ P ₁₀ K ₁₀	N ₇₀ P ₂₀ K ₂₀	Навоз 50 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
8	Корнеплоды	P ₃₀ K ₃₀	N ₄₀ P ₁₀ K ₁₀	–	N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
9	Томат	Перегной 40 т/га +P ₄₀ K ₄₀	N ₅₀ P ₃₀ K ₃₀	–	N ₄₀ P ₂₀ K ₂₀	Перегной 40 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
10	Капуста белокочанная ранняя	P ₅₀ K ₅₀	–	N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₇₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀

Перед посевом вносят удобрения под поздно высеваемые культуры под предпосевную культивацию с целью усиления питания растений в первой половине вегетации. В качестве припосевного удобрения, улучшающего питание растений в начале роста, вносят аммонийную селитру, суперфосфат, хлористый калий или комплексные удобрения.

Подкормки применяют для усиления питания овощных культур. Обычно под овощные культуры принято проводить две подкормки азотно-фосфорно-калийными удобрениями, приурочивая их к наиболее ответственным периодам формирования урожая. Эффективность подкормки возрастает при орошении. В

севооборотах без орошения, в зонах с недостаточным увлажнением проводить подкормки не рекомендуется. В этом случае норму удобрения распределяют между основным (осенним) и предпосевным (рано весной) удобрением. Удобрения нужно заделывать на достаточную глубину во влажный слой почвы.

Таблица 198 – Примерная система удобрения в зернокартофельном севообороте предгорной зоны

№ поля	Культура	Основное удобрение	Предпосевное (предпосадочное) удобрение	При посеве (посадке)	Подкормки	Всего
1	Многолетние травы	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀	–	–	–	N ₄₀ P ₆₀ K ₄₀
2	Многолетние травы	–	–	–	P ₃₀ K ₃₀	P ₃₀ K ₃₀
3	Озимая пшеница	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	–	P ₃₀	N ₃₀	N ₇₀ P ₆₀ K ₄₀
4	Картофель весенней посадки	P ₄₀ K ₄₀	N ₅₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₄₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
5	Кукуруза на силос	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	–	N ₃₀ P ₃₀	–	N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀
6	Озимая пшеница	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	–	–	N ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
7	Картофель весенней посадки	Навоз 60т/га + P ₅₀ K ₅₀	N ₄₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₅₀ P ₂₀ K ₂₀	Навоз 60т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
8	Пропашные культуры	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	–	–	N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀
9	Яровые колосовые	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	–	–	–	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀
10	Картофель весенней посадки	P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₄₀ P ₂₀ K ₂₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀

В *зоне субтропиков* благоприятные климатические условия позволяют выращивать овощи круглый год. Интенсивное использование земли обуславливает неоднократное применение удобрений. Здесь особенно важен контроль за действием удобрений на урожай и качество получаемой продукции.

Нормы удобрений под овощные культуры в зоне субтропиков показаны в таблице 199 (Вендило Г.Г., Миканаев Т.А., Петриченко В.Н. и др., 1986).

Таблица 199 – Дозы удобрений для овощных культур на желтоземно-подзолистых почвах

Культура	Вспашка	Боронование	1-я подкормка	2-я подкормка	Всего
Капуста белокочанная					
ранняя	N ₉₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₄₅ P ₂₅ K ₂₅	N ₄₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₉₀
средняя	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₃₀ P ₂₅ K ₂₅	N ₃₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀
зимующая	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₄₀ P ₂₅ K ₂₅	N ₄₀ P ₂₀ K ₂₅	N ₄₀ K ₂₅	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₁₂₀
Капуста цветная летняя	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₆₀ P ₂₅ K ₂₅	N ₆₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₉₀
зимующая	N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₃₀ P ₂₅ K ₂₅	N ₅₀ P ₂₀ K ₂₅	N ₅₀ K ₂₅	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₁₂₀
Огурец, кабачок	N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	N ₄₅ P ₂₅ K ₃₀	N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	–	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₂₀
Томат ранние сорта	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	–	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀
поздние сорта	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₃₀ P ₂₅ K ₂₅	N ₃₀ P ₂₀ K ₂₀	–	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀
Перец, баклажан	N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	N ₄₅ P ₂₅ K ₄₅	N ₃₀ P ₂₀ K ₃₀	–	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₃₅
Свекла, морковь	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	N ₄₅ P ₃₀ K ₃₀	–	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀
Редька	–	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	–	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀
Редис	–	N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	–	–	N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀

Для зимующих овощных культур дозу удобрений в подкормку весной увеличивают на 10–15 % за счет дозы, вносимой под вспашку. Под культуры весенне-летнего срока выращивания минеральные удобрения вносят в феврале-марте, осенне-зимнего — в августе-сентябре. Под вспашку вносят 50 % нормы удобрений, перед посадкой в борозды 25 %, в подкормки 25 %. Большое значение имеет применение органических удобрений.

11.5.6.2. Особенности удобрения овощных культур при выращивании на семена и в защищенном грунте

Удобрение при выращивании овощных культур на семена. Хранение маточников капусты улучшается при недопущении избытка азота и хорошем обеспечении калием. На второй год на семенниках дают повышенные дозы фосфорно-калийных удобрений. На посевах лука на севок подкормки не проводят. Под семенники лука применяют основное удобрение и одну-две подкормки.

В **защищенном грунте** используются подготовленные почвогрунты различного состава. В южных районах используется такой состав: 77–80 % верхнего слоя чернозема, 18–19 % перегной, 1–5 % песка; 60–70 % верхнего слоя чернозема, 15–30 % перегной, 10–15 % рыхлящих материалов. Возможен и другой состав.

По сравнению с открытым грунтом, в защищенном используют более высокие дозы минеральных удобрений. Это может привести к засолению тепличных грунтов. Поэтому нужно использовать высококонцентрированные удобрения – аммонийную и калийную селитру, мочевины, двойной суперфосфат, аммофос, специальные удобрения для теплиц.

Система удобрения овощных культур в условиях защищенного грунта в зимних теплицах состоит из основного удобрения и подкормки. Для подкормки используют хорошо растворимые удобрения. Необходимость подкормки определяют по анализам почвы или состоянию растений.

Под огурец в качестве основного удобрения в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания вносят: азота 5–50 г/м², фосфора (P₂O₅) 5–70 г/м², калия (K₂O) 20–100 г/м². Микроудобрения вносят периодически в качестве основного удобрения: бора 1 кг/га, кобальта 1,0–1,5, меди 3, цинка 2, марганца 3, молибдена 0,2–0,3 кг/га.

Под томат вносят азота 5–35 г/м², фосфора (P₂O₅) 5–50, калия (K₂O) 10–100 г/м². Нельзя допускать избытка азота. Микроудобрения вносят в таких же дозах, как под огурец, но дозу бора увеличивают до 1,5 кг/га.

В пленочных теплицах применяют близкие к указанным дозы удобрений.

При **выращивании рассады** удобрения вносят при подготовке грунтов. Например, под капусту белокочанную: дерновая земля 1 часть, перегной 1,5 часть по объему, удобрения в кг/м³ – азот 0,27, фосфор (P₂O₅) 0,68, калий (K₂O) 0,37. В подкормку вносят, г/10 л:

Подкормка	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-я	6,8	9,0	11,2
2-я	10,2	18,0	14,0

Под томат берется полевая земля 1 часть, перегной 1 часть. Удобрение в кг/м³ — азот 0,27, фосфор (P₂O₅) 0,68, калий (K₂O) 0,37. В подкормку вносят, г/10л:

Подкормка	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-я	1,7	13,5	2,8
2-я	1,7	13,5	8,4

При посеве семян или пикировке сеянцев в грунт под капусту вносят на 1 м² перегноя 2–4 кг, азота 5 г; фосфора 18; калия 7 г. В подкормку вносят, г/10 л:

Подкормка	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-я	6,8	18,0	4,6
2-я	10,0	27,0	7,2
3-я	6,8	18,0	27,6

Под томат грунт подготавливают так же, как под капусту. В подкормку вносят, г/10 л:

Подкормка	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-я	1,7	18,0	8,5
2-я	3,5	36,0	11,0
3-я	3,5	36,0	11,0

11.5.7. Удобрение виноградников, плодовых и ягодных культур

Особенностью культур этой группы, учитываемой при внесении удобрений, является то, что они произрастают на одном месте длительное время. У большинства культур мощная корневая система, занимающая значительный объем почвы. Поэтому система удобрения их существенно отличается от удобрения ранее рассмотренных культур.

11.5.7.1. Плодовые культуры

Питание и удобрение плодовых культур обычно рассматривается по двум группам – семечковые (яблоня, груша, айва) и косточковые (вишня, черешня, слива, алыча, персик, абрикос).

Размещение корневой системы у плодовых деревьев различное: у груши она размещается на большей глубине, чем у яблони. У вишни, черешни и сливы более поверхностная корневая система, чем у семечковых.

Диаметр круга, занятого корнями, в 1,5–2 раза больше диаметра кроны дерева. Плотность корней в пределах проекции кроны в 3–4 раза больше, чем за ее пределами. У плодовых деревьев каждый скелетный корень связан с определенной частью надземной системы. Поэтому удобрения лучше всего вносить равномерно вокруг растения.

Семечковые растут при слабокислой реакции, косточковые – при нейтральной. Сильное отрицательное действие на рост плодовых растений оказывает повышенное содержание в почве водорастворимых солей и поглощенного натрия.

У плодовых культур выделяют два этапа поглощения питательных веществ: от начала вегетации до окончания роста побегов и уборки урожая; от уборки до глубокой осени. На первом этапе обеспечивается рост побегов, листьев, образование плодов, а также закладка почек для урожая будущего года. В этот период из элементов питания больше потребляется азот. На втором этапе отмечается следующий максимум роста корневой системы, продолжается развитие плодовых почек для урожая следующего года, рост растений в толщину и отложение запасных питательных веществ. В это время требуется умеренное азотное питание и хорошее фосфорно-калийное, способствующее повышению морозоустойчивости деревьев.

При внесении удобрений нужно учитывать, что избыток азота вызывает ухудшение окраски, водянистость плодов.

Удобрения (органические и фосфорно-калийные) вносят в три срока: перед посадкой, под молодые и под плодоносящие насаждения.

Предпосадочное удобрение вносят под плантаж или глубокую пахоту. В качестве предпосадочного удобрения используют навоз или компост с фосфорно-калийным удобрением. При среднем уровне обеспеченности вносят $P_{150-300}K_{120-200}$ и 40 т/га навоза. В этом случае удобрения в посадочные ямы не помещают. Если удобрение применяют, в ямы закладывают по 7–12 кг перегноя 60–100 г P_2O_5 и 24–36 г K_2O . Минеральные удобрения высыпают на дно ямы, изолируя корневую систему саженца слоем не удобренной почвы 10–15 см.

Предпосадочное внесение органических и фосфорно-калийных удобрений достаточно для молодых деревьев до вступления их в плодоношение. При хорошем состоянии деревьев азотные удобрения не требуются, при недостаточном росте вносят N_{60} .

В **плодоносящих садах** удобрения вносят ежегодно. Полуперепревший навоз вносят один раз в 3–4 года сплошным способом в норме 30–40 т/га. Птичий помет вносят в виде подкормки по 15–20 ц/га. При недостатке влаги почву содержат под черным паром. В остальных случаях применяют сидеральное удобрение. В условиях избыточного увлажнения и орошения предпочитают аммонийные и амидные азотные удобрения.

Обеспеченность почв элементами питания устанавливают по агрохимическим картограммам (табл. 200).

Таблица 200– Группировка почв плодовых садов по содержанию подвижного фосфора и обменного калия в слое 0–60 см, мг/100 г почвы

Уровень обеспеченности	Фосфор		Калий	
	по Чирикову	по Мачигину	по Масловой	по Мачигину
Очень низкий и низкий	<15	<2	<20	<15
Средний	15–20	2,1–3,5	20–40	15–30
Повышенный	>20	>3,5	>40	>30

Дозы удобрений на различных типах почв в зависимости от обеспеченности почв приводятся в таблице 201. При урожайности семечковых пород более 200 ц/га и косточковых более 100 ц/га норму удобрений увеличивают на 15–25 %. Если нормы фосфора или калия увеличены, то повышают и среднюю норму азота до этого же уровня. В случае снижения нормы фосфора и калия среднюю норму азота оставляют без изменений. Проводится также корректировка норм удобрений по содержанию элементов питания в листьях плодов культур.

В зависимости от типа и возраста плодового сада, удобрения вносят в 1–3 "строки" с каждой стороны ряда деревьев. Первую – под кроной на глубину 10–15 см, каждая следующая глубже на 5–10 см. В садах с междурядьями 3,5 м удобрения вносят посередине их в одну "строку". Глубина внесения устанавливается предварительной раскопкой корней. Нельзя повреждать корни диаметром более 7–10 мм. Органические удобрения вносят вразброс, на тяжелых почвах на 15–20 см, на легких – 20 и более.

Всю дозу минеральных и органических удобрений вносят осенью. В садах, где возможны потери питательных веществ путем вымывания или смыва (песчаные и супесчаные почвы, близкое залегание грунтовых вод на склонах, избыточное увлажнение, орошение), основное удобрение вносят в позднезимний или ранневесенний периоды. Применяется одна подкормка, в урожайные годы

– две: первую азотными удобрениями за 2–3 недели до цветения, вторую в июне – в конце затухания роста деревьев. Если рост деревьев хороший (величина однолетнего прироста больше 20 см), применяют фосфорно-калийное удобрение, при слабом росте – азотно-фосфорно-калийное удобрение.

Таблица 201 – Нормы минеральных удобрений в садах семечковых (урожайность 100–200 ц/га) и косточковых пород (урожайность 80–100 ц/га) в Краснодарском крае, кг/га д.в.

Зона	Почва	Норма азота	Обеспеченность почвы P ₂ O ₅			Обеспеченность почвы K ₂ O		
			низкая	средняя	повышенная	низкая	средняя	повышенная
Северная	Обыкновенные черноземы	115	80	65	35	110	90	45
	Типичные и выщелоченные черноземы	135	155	130	65	155	130	65
Центральная	Обыкновенные черноземы	115	80	65	35	110	90	45
	Аллювиальные	160	155	130	65	125	105	50
Западная дельтовая	Луговые	105	125	105	50	125	105	50
	Южные черноземы	110	55	45	30	60	50	30
Анапо-Таманская	Каштановые	100	95	80	40	100	85	40
	Обыкновенные черноземы	130	95	80	40	125	105	50
Южно-предгорная	Типичные и выщелоченные черноземы	135	155	130	65	155	130	65
	Луговые	120	145	120	60	145	120	60
	Серые лесные	110	130	110	55	130	110	55
Черноморская	Аллювиальные	150	130	110	55	90	75	40
	Бурые лесные	140	95	80	40	155	130	65

В Черноморской зоне Северного Кавказа ежегодную норму азота для плодоносящих садов целесообразно вносить в 2–3 приема. При урожае до 200 ц/га 60 % нормы вносят перед началом вегетации и 40 % – через 2–3 недели после цветения. При более высокой урожайности – 50 % перед началом вегетации, 30 % – через 2 недели после цветения и 20 % после физиологического осыпания избытка завязей. Оптимальные нормы фосфора и калия вносят ежегодно. Удобрения, содержащие азот, вносят перед началом или во время вегетации, заделывая простые на 10 см, комплексные на 20–40 см; фосфорно-калийные удобрения вносят осенью или зимой на глубину 20–40 см.

Микроудобрения применяют рано весной (в начале вегетации), во время цветения и завязи плодов. Опрыскивание деревьев микроудобрениями и некорневую подкормку карбамидом проводят утром или вечером. Борные удобрения вносят в почву в дозе 1–1,5 кг/га д.в. Во время цветения опрыскивают 0,01–0,05 %-ным раствором борной кислоты. Марганцевые удобрения применяют путем опрыскивания сульфатом марганца 0,1–0,5 %. Сульфатом цинка в виде 3 %-го раствора опрыскивают до распускания почек и 0,3–0,4 %-ным – после цветения. Через 2–3 недели опрыскивание повторяют.

11.5.7.2. Субтропические культуры

Чай. Лучшими почвами для чая в субтропических районах Краснодарского края являются богатые перегноем и питательными веществами бурые лесные почвы, развитые на красно-бурых глинах. Пригодны для чая и бурые лесные почвы, обладающие высокой влагоемкостью, развитые на желтовато-бурых глинах. Жел-

тоземные почвы, расположенные в прибрежной полосе, под чай используются лишь небольшими участками, так как бедны гумусом и питательными веществами. Чайные растения, заложенные на желтоземных почвах без длительного предварительного их окультуривания и проведения мелиоративных мероприятий, даже при сравнительно благоприятных условиях вегетационного периода плохо растут и дают низкий не только по величине, но и качеству урожай.

С урожаем чайного листа 4–5 т/га из почвы выносятся в среднем 80 кг азота, 35 кг фосфора и 46 кг калия; приблизительно такое же количество питательных веществ выносятся с урожаем грубого листа (материала для приготовления лао-ча) и с подрезочным материалом; значительное количество питательных элементов потребляется растением для формирования отдельных вегетативных и генеративных органов, а также микроорганизмами из почвы.

Чтобы урожайность плантаций не снижалась, израсходованные питательные вещества необходимо восполнять удобрениями.

Применение удобрений повышает урожайность и зимостойкость насаждений, улучшает качество чайного листа. При сборе урожая ежегодно отчуждается значительное количество побегов и листьев. При недостатке азота листья желтеют, становятся мелкими, снижается интенсивность побегообразования. Большое количество азота используется растениями на формирование флешей. При недостатке фосфора листья приобретают темную антоциановую окраску. При недостатке калия растения могут сбрасывать листья. Растения чая очень отзывчивы на применение органических и минеральных удобрений, особенно азотных. Диагностирование недостатка питательных элементов по внешним признакам голодания растений наряду с химическими анализами почвы и растений служит мероприятием, дающим возможность своевременно и правильно вносить удобрения.

На подготовленный участок перед посевом семян или посадкой саженцев чая на постоянное место вносится $P_{200-300}K_{100-120}$ под перепахку. Перед посадкой саженцев в лунки вносят удобрения: 2–3 кг торфа, 25 г суперфосфата, 50 г нитрофоски.

Лучшими удобрениями для чайных плантаций являются органические (торфокомпост, птичий помет и др.). Вносят их в первую очередь на молодые листосборные плантации в дозе 40–80 т/га один раз в 3 года под основную осенне-зимнюю обработку почвы. Птичий помет вносится в чистом виде или в виде торфо-пометного компоста (10:1).

Потребность в минеральных удобрениях устанавливается по обеспеченности почв элементами питания (табл. 202; Воронцов В.В., Штейман У.Г., 1982).

Таблица 202 – Примерные индексы обеспеченности полновозрастных чайных плантаций Краснодарского края основными элементами питания, в слое 0–30 см, мг/100 г почвы

Элемент питания	Степень обеспеченности		
	низкая	средняя	высокая
N легкогидролизуемый, по Тюрину и Кононовой	<10	20–30	30–50
P (P_2O_5) подвижный: по Чирикову, по Ониани	<10	10–20	>20
K (K_2O) обменный: по Масловой, по Ониани	8–15	15–30	>30
	<10	10–20	>20
	5–10	10–15	>15

Для чайных плантаций Краснодарского края и Республики Адыгея рекомендуются следующие дозы минеральных удобрений при средней обеспеченности элементами питания:

На молодых плантациях:

до 3 лет	$N_{75}P_{100}$
4–5 лет	$N_{150}P_{120}K_{100}$
7–9 лет	$N_{200}P_{120}K_{100}$

На полновозрастных плантациях с урожаем:

до 3,5 т/га	$N_{250}P_{120}K_{100}$
3,6–5 т/га	$N_{300}P_{150}K_{150}$
>5 т/га	$N_{350}P_{150}K_{150}$

При низкой обеспеченности почвы доступными для растений элементами питания нормы минеральных удобрений увеличивают на 30–50 %, при высокой – снижают на 30–50 %.

Оценку питательного режима также проводят методом листовой диагностики, используя флешу (табл. 203; Воронцов В.В., Штейман У.Г., 1982).

Таблица 203 – Оптимальные уровни обеспеченности полновозрастных чайных плантаций элементами питания по содержанию N, P и K в трехлистных флешах

Элемент питания	Содержание элементов питания, % на сухое вещество		
	май	июнь	сентябрь
Азот, N	5,2–5,6	5,0	4,8
Фосфор, P_2O_5	0,8–1,0	0,8	0,75
Калий, K_2O	2,0	2,0	2,0

Система удобрения чайных плантаций Краснодарского края и Республики Адыгея состоит из основного удобрения (осенне-зимний срок внесения) и подкормок. Удобрения вносят ленточным способом. На полновозрастных плантациях удобрения разбрасывают по всей ширине междурядья: фосфор и калий осенью под основную обработку; азотные – 60 % в марте в форме сульфата аммония и 40 % в июне в форме аммонийной селитры или карбамида. На неорошаемых площадях азотные удобрения вносят в один срок. Из фосфорных удобрений вносят под чай суперфосфат простой и двойной, из калийных – калийную соль и хлористый калий. Применяют также комплексные удобрения.

Мандарины. Являются высокоинтенсивной культурой и поэтому требуют повышенных доз удобрений. Особенно большой эффект дает внесение органических удобрений (навоз, торфокомпост, сидераты). От их применения улучшаются водно-воздушный и температурный режимы почвы, повышается морозоустойчивость растений. Органические удобрения применяются в дозе 60–100 т/га. Торфокомпост заделывается в почву или используется для мульчирования. Нормы и сроки внесения минеральных удобрений устанавливаются в зависимости от почвенных условий и возраста растений (табл. 204; Воронцов В.В., Штейман У.Г., 1982).

Применяют аммонийную селитру, сульфат аммония, суперфосфат, калийную соль. Фосфорные удобрения вносят осенью под осеннюю обработку, сульфат аммония рано весной, аммонийную селитру 60 % до цветения (в марте), 40 % после цветения (до 15 июня). В первые годы после посадки удобрения вносят в приствольные круги, а с 4-х летнего возраста – полосами не ближе 12–15 см от ствола. В более старшем возрасте деревьев удобрения разбрасывают по всей ширине междурядий.

Таблица 204 – Примерные нормы удобрений под карликовые мандарины в субтропических районах Краснодарского края, г д. в. на одно растение

Вид удобрения	При посадке	В возрасте					
		до 5 лет		6–10 лет		старше 10 лет	
		весной	в июне	весной	в июне	весной	в июне
Азотные	–	50	30	70	50	96	64
Фосфорные	40	120	–	160	–	200	–
Калийные	–	50	–	60	–	60	–

Лимон. Перед посадкой под основную обработку почвы вносят 60–80 т/га полуперепревшего навоза и минеральные удобрения $P_{600}K_{150}$. До 5-летнего возраста вносят 10 кг органических удобрений на одно растение и от 10 до 20 лет 20–30 кг. Внесение минеральных удобрений также дифференцируется в зависимости от возраста растений и состояния насаждений. Фосфорные и калийные удобрения вносят в почву на основе ее агрохимического анализа и картограмм, находящихся в хозяйствах. Первое внесение азотных удобрений производится вслед за глубокой обработкой почвы, в начале вегетации до бутонизации и цветения растений из расчета 40 % полной нормы. Нормы его внесения дифференцируются в зависимости от возраста и состояния растений (1–5 лет – 50–60 г/дереву, 4–5 лет 80–100 г/дереву, 6–7 лет – 150–200 г/дереву), а на полновозрастные в зависимости от урожайности (5–10 кг – 200 г, 11–15 кг – 250 г, 20 кг – 300 г, >20 кг – 450 г/дереву).

Хурма. В молодых насаждениях (8–10 лет) хурмы минеральные удобрения вносят в нормах $N_{90-100}P_{60-90}K_{30-40}$. При удобрении взрослых деревьев норму увеличивают на 30–40 %. Азотные удобрения вносят под весеннюю перепахку и в июле. Междурядья используются для посева осенне-зимних сидератов.

Инжир. В междурядьях молодых плантаций инжира высевают зимние сидераты: люпин, горох, вику и др. В июне их запахивают. Вносят минеральные и органические удобрения. На молодых насаждениях (до 5 лет) азотные удобрения вносят из расчета N_{50-80} . Для полновозрастных плантаций норма азота $N_{160-200}$, из них 60 % вносят в весенний период, 40 % – в июле. Распределяют удобрения по всей ширине междурядий и заделывают на глубину 5–7 см. Для весеннего внесения используют сульфат аммония, летнего – аммонийную селитру. На плодоносящих насаждениях вносят $P_{160-200}$ при осенне-зимней обработке с заделкой на глубину 15 см. На молодых плантациях инжира суперфосфат вносится лентами с отступлением от растений на 10–15 см, на плантациях более старшего возраста – по всей ширине междурядий. Калийные удобрения в форме сульфата калия и калийной соли вносят из расчета K_{100} .

Фейхоа. Полное минеральное удобрение повышает урожай плодов фейхоа на 75 %. Растение не выносит избытка извести. Во время посадки под каждое растение вносят до 10 кг органического удобрения, 100 г фосфора и 60 г калия. На полновозрастных плантациях фейхоа наибольший эффект достигается при норме минерального удобрения $N_{90}P_{120}K_{60}$. Удобрения вносят под перекопку.

Маслина. На молодых плантациях маслин вносят $N_{50-70}P_{60-80}K_{20-40}$, на плантациях в возрасте 15–20 лет – $N_{200-250}P_{200-250}K_{60-80}$, старше 20 лет – норму удобрений увеличивают на 40–50 %.

Гранат. Лучше растет на мощном богатом гумусом суглинке, щебенчатых и известковых почвах. Для молодых насаждений (до 5 лет плодоношения) гра-

ната рекомендуется норма удобрений $N_{120}P_{90}K_{60}$. С увеличением возраста норму удобрений под эту культуру увеличивают на 30–40 %.

Фундук. Наиболее часто проявляется недостаток азота. Выражается он в пожелтении листьев, сокращении периода вегетации. Но избыток азота может ухудшить качество орехов (утолщение скорлупы), усилить вегетативный рост. Наибольшую потребность в фосфорных удобрениях фундук испытывает в весенне-летний период при образовании и формировании ядра. Калийные удобрения также повышают продуктивность, но избыток калия нередко является причиной периодичности плодоношения. Хорошо отзывается фундук и на внесение магниевых, борных и цинковых удобрений. На молодых плантациях вносят $N_{60}P_{60}K_{60}$, на полновозрастных – $N_{120}P_{120}K_{120}$. На молодых плантациях фундука применяют зимние сидераты (люпин, сераделла, вика, зимующие сорта гороха). Высевают их в начале октября, запахивают весной – в середине или конце апреля – начале мая.

Лавр благородный. Очень отзывчив на применение органических и минеральных удобрений. На полновозрастных плантациях лавра вносят $N_{140-160}P_{120-140}K_{80-100}$. Фосфор вносят при осенне-зимней обработке и заделывают на глубину до 15 см. На молодых плантациях фосфор вносят лентами с отступлением от растений на 10–15 см, на плантациях лавра более старшего возраста – по всей ширине междурядий.

Питомник субтропических культур. При выращивании саженцев чая черенками в контейнер через 2 месяца после образования корней вносят 0,4–0,5 г нитроаммофоса на контейнер (полиэтиленовый мешок), или 0,1–0,2 г аммонийной селитры с добавлением 0,2–0,3 г суперфосфата с последующим поливом или с поливной водой. Всего проводят 3–4 полива с интервалом 25–30 дней. При выращивании сеянцев из семян проводят подкормку 0,5 кг нитроаммофоски на 1000 контейнеров. К почве для контейнеров (рН 4,5–6,0) добавляют 3 кг нитроаммофоски на 1 м³ почвы.

При выращивании подвоев цитрусовых проводят подкормку N_{60-80} . При выращивании черенков граната проводят подкормку аммонийной селитрой из расчета N_{40-50} .

11.5.7.3. Виноградники

Извлечение питательных веществ из почвенных запасов – это произведение массы ежегодно образуемых органов на содержание в них этих элементов питания. Зная размер общего выноса растением питательных веществ из почвы, виноградарь получает представление, как велико количество тех или иных веществ, ежегодно извлекаемых из почвы. Тогда он может составить баланс питательных веществ, подсчитав, какие количества питательных веществ поглощает виноград и какое количество соответствующего питательного вещества он должен внести в почву в виде удобрений. Этот баланс важен, однако в нем не учитываются те количества, которые не могут быть использованы виноградом, в результате вымывания, почвенной эрозии или других процессов. При расчете норм удобрений по результатам почвенных анализов большое значение имеют данные о выносе питательных веществ из почвы, так как эти данные служат основой для расчета норм отдельных питательных элементов при различном содержании их в почве (табл. 205)

С каждыми 100 ц гроздей винограда из почвы извлекаются 18–23 кг азота, 6–8 кг фосфора, 34–40 кг калия, 5–6 кг кальция, 2,0–2,5 кг магния. Однако питательные вещества содержатся не только в ягодах, но и в вегетативных орга-

нах и, таким образом, размер урожая, сила роста, возраст, система ведения виноградника с учетом образуемой массы листьев и побегов все эти параметры должны учитываться при расчете выноса питательных веществ из почвы. Если принять для этих отдельных параметров виноградник со средней урожайностью и силой роста, и другой виноградник с очень высокой урожайностью и силой роста, то получают значения выноса питательных веществ.

Таблица 205 – Вынос питательных веществ кустами винограда при различной урожайности и силе роста, включая ягоды, листья, древесину и побеги

Питательные вещества	Вынос питательных веществ на 4000 кустов/га			
	урожай около 100 ц гроздей, 13 ц листьев, 10 ц массы верхушек, 13 ц удаляемой древесины.		урожай около 200 ц гроздей, 15 ц листьев, 10 ц массы верхушек, 10 ц удаляемой древесины.	
	всего	без листьев	всего	без листьев
Макроэлементы, кг/га				
Азот	68–83	36–45	72–114	52–72
Фосфор	19–22	13–15	22–38	19–30
Калий	96–102	73–76	100–153	93–124
Кальций	66–74	31–34	79–105	40–50
Магний	16–18	8–16	15–20	10–11
Микроэлементы, г/га				
Марганец	170–200	78–90	202–233	100–112
Бор	156–169	104–115	221–243	164–183

Правильное применение удобрений на виноградниках дает прибавку урожайности 17–23 %, на орошаемых участках – 32–44 %. Внесение удобрений улучшает качество ягод и вина.

При достаточном обеспечении винограда азотом обеспечивается хороший рост побегов, высокая продуктивность кустов, накапливается больше сахара. Избыток азота снижает устойчивость к болезням, морозоустойчивость, плодоносность побегов. Снижается также качество винограда и вина, которое приобретает травянистый привкус, плохо освещается и болеет. У столовых сортов снижается лежкость и транспортабельность ягод.

Недостаток фосфора вызывает замедление роста, ухудшается вызревание и морозоустойчивость древесины. При хорошей обеспеченности фосфором усиливается сахаронакопление и повышается качество вина. Избыток фосфора, особенно на карбонатных почвах, может препятствовать поглощению цинка и железа и приводить к хлорозу.

Недостаток калия приводит к снижению зимостойкости растений, содержания сахара в ягодах, вызревания побегов. При сильном недостатке калия наблюдается слабый рост. При хорошей обеспеченности калием повышается качество и ароматичность вина.

Удобрения на виноградниках вносят до посадки, при посадке и в период роста в виде основного удобрения и подкормок.

Предпосадочное внесение удобрений. Внесение удобрений обеспечивает благоприятные условия питания винограда на длительный период. Удобрения перед вспашкой равномерно распределяют по поверхности туковывсевающими машинами и заделывают плантажным плугом с предплужником на глубину 50–70 см. При этом удобрения обогащают питательными веществами те слои, где

будет располагаться основная масса корней. Нормы удобрений устанавливаются в зависимости от уровня плодородия почв (табл. 206; Смирнов К.В. и др., 1982).

Таблица 206 – Нормы удобрений под плантажную вспашку под виноградник

Удобрения	Обеспеченность почв питательными веществами				
	очень низкая	низкая	средняя	повышенная	высокая и очень высокая
Органические, т/га	80–100	60–80	40–60	30–40	0
Фосфорные, д.в. кг/га	600–800	400–600	200–400	200–300	0
Калийные, д.в. кг/га	800–1000	600–800	400–600	200–400	0

Припосадочное внесение удобрений. Применяется с целью создания благоприятного питания молодых растений в первый период жизни, повышения приживаемости саженцев, ускорения роста и вступления в плодоношение.

При гидромеханизированной посадке удобрения вносят в виде раствора. Для этого готовят 10 %-е маточные растворы аммонийной селитры, – за 2–3 дня и используют вытяжку. Эти растворы добавляют в бак гидробура из расчета на 100 л воды: 2,4 л раствора аммонийной селитры, 5,4 л – суперфосфата и 2,0 л – калийной соли.

При посадке в ямки вносят по 2–3 кг перегноя, 10–20 г аммонийной селитры, 50 г суперфосфата, 10–20 г хлористого калия или сульфата калия, перемешивая их с почвой. Сверху насыпают землю слоем 3–5 см.

Молодые виноградники, на которых предпосадочное удобрение вносилось по рекомендациям, в первые 2–3 года не удобряют. В последующие годы до полного плодоношения на них вносят 1/3 нормы для взрослых насаждений. При необходимости проводят подкормку.

Если под плантаж удобрения не вносились, их вносят ежегодно: при очень низкой обеспеченности почв – по 60–80 кг/га д.в. азота, фосфора и калия, низкой – по 50–70, средней 40–60, повышенной – 30–50, высокой – 10–20 кг/га.

Удобрение плодоносящих виноградников. Применяют азотные, фосфорные и калийные удобрения в зависимости от уровня плодородия почв (табл. 207).

Таблица 207 – Группировка почв по содержанию подвижного фосфора и обменного калия в слое 0–60 см, мг P₂O₅ и K₂O на 100 г почвы

Содержание	Фосфор		Калий	
	по Чирикову	по Мачигину	по Чирикову	по Мачигину
Очень низкое и низкое	<10	<2	<10	<15
Среднее	10–20	2,0–3,0	10–20	15–25
Повышенное	20–30	3,0–4,5	20–30	26–35
Высокое	>30	>4,5	>30	>35

Органические удобрения применяют в дозе 20–60 т/га один раз в 2–6 лет. Нормы минеральных удобрений устанавливают по типам почв в зависимости от планируемой урожайности, обеспеченности водой, состояния насаждений (табл. 208; Серпуховитина К.А., 1982). Используют также данные химического анализа листьев, по которым делают поправки к установленным дозам по анализу почв.

Таблица 208 – Нормы минеральных удобрений для плодоносящих виноградников при средней и повышенной обеспеченности почв элементами питания в Краснодарском крае, д.в. кг/га

Планируемая урожайность, ц/га	Обеспеченность водой	Нормы удобрений при росте побегов		
		сильном	среднем	слабом
Черноземы, серые лесные и другие плодородные почвы				
Азотные				
100–120	Достаточная	80	100	120
80–100		60	80	100
60–80		40	60	80
100–120	Недостаточная	70	90	110
80–100		50	70	90
60–80		40	60	80
Фосфорные				
100–120	Достаточная	100	120	140
80–100		90	100	120
60–80		80	90	100
100–120	Недостаточная	90	100	120
80–100		80	90	100
60–80		60	80	90
Калийные				
100–120	Достаточная	90	100	120
80–100		70	90	100
60–80		60	80	90
100–120	Недостаточная	70	90	100
80–100		60	80	90
60–80		45	65	80
Дерново-карбонатные, щебеночные, каменистые, песчаные почвы				
Азотные				
100–120	Достаточная	100	120	140
80–100		60	90	120
60–80		45	65	90
100–120	Недостаточная	60	80	100
80–100		45	65	80
60–80		35	50	65
Фосфорные				
100–120	Достаточная	100	120	140
80–100		60	90	120
60–80		45	65	90
100–120	Недостаточная	90	100	120
80–100		45	65	90
60–80		35	50	65
Калийные				
100–120	Достаточная	150	180	200
80–100		100	150	180
60–80		80	120	150
100–120	Недостаточная	100	150	180
80–100		80	120	150
60–80		65	80	120

На плодоносящих виноградниках применяют и расчетный метод определения норм удобрений по выносу элементов питания при получении планируемого урожая и обеспеченности почвы питательными веществами (Серпуховитина К.А., 1988).

Азотные удобрения рекомендуется вносить ежегодно, фосфорно-калийные при низкой обеспеченности почвы – ежегодно, средней – раз в 2–3 года, высокой – раз в 3–4 года.

Основное удобрение вносят осенью после уборки урожая. Органические удобрения и основную часть фосфорно-калийных удобрений вносят ленточным способом на глубину до 50 см, азотные удобрения вносят весной на глубину 20–30 см.

Подкормки корневые и некорневые проводят по результатам наблюдений за растениями за 10–20 дней до цветения, в период роста ягод, созревания ягод.

Используют для корневой подкормки азотные, фосфорные и калийные удобрения в дозах 15–40 кг/га д.в. При летних и осенних подкормках азот не вносят. При необходимости вносят 1 кг бора, 3 кг марганца, 1 кг цинка, 0,25 кг молибдена. Подкормки эффективны при достаточной обеспеченности водой.

При некорневой подкормке применяют слабые растворы удобрений при нейтральной реакции: сульфата аммония 0,3–0,5 %, суперфосфата 5–6 %, хлористого калия 0,7–1 %, борной кислоты, сульфата цинка и молибдата аммония – по 0,03 %. Расход рабочего раствора 600 л/га. Проводят ее в утренние или вечерние часы, совмещая с опрыскиванием от вредителей и болезней.

11.5.7.4. Ягодники

К ягодным культурам относятся смородина черная и красная, крыжовник, малина, земляника. Как и у плодовых культур, у ягодных кустарников каждый корень связан с определенной частью надземной системы, поэтому удобрения нужно вносить с двух сторон рядка.

Смородина черная, крыжовник и малина. Смородина черная и крыжовник растут при слабокислой реакции. Рост до конца цветения крыжовника происходит в основном за счет запасных питательных веществ, после цветения до полного формирования урожая отмечается усиленное поглощение элементов питания, особенно азота. Малина выносит среднекислую реакцию, период поглощения азота, фосфора и калия растянут и продолжается до конца лета. Ежегодно под эту культуру вносят 20–30 т/га навоза и $N_{40-60}P_{40-60}K_{40-60}$. При заделке удобрений глубина вспашки в междурядьях смородины и крыжовника 10–16 см, малины – 12–15 см.

Органические, фосфорные и калийные удобрения заделывают осенью под зяблевую вспашку, азотные – весной под культивацию. При высоком урожае проводят подкормку в фазе зеленой завязи.

Земляника. Выносит среднекислую реакцию. Корневая система растений земляники расположена в слое 0–20 см. До начала цветения эта культура поглощает 15–20 % питательных веществ от их общего количества за вегетационный период. От начала цветения до конца плодоношения (1,5 месяца) земляникой поглощается 40 % азота, 55 % фосфора и калия. Наибольшее количество фосфора и калия (примерно 40 %) земляника усваивает за период плодоношения (3 недели). Потребление азота идет равномерно по фазам.

На черноземах под вспашку вносят 30–40 т/га навоза и $P_{100-120}K_{100-120}$. На плодоносящих плантациях осенью вносят $P_{50-60}K_{40-60}$ под основную обработку почвы в междурядья на глубину 8–10 см. Азотные удобрения вносят рано весной в дозе N_{20-30} и после сбора урожая N_{30-40} . Потребность в азотных подкормках определяют по цвету листьев или с помощью химической листовой диагностики. Концентрация растворов микроудобрений при подкормках 0,02 %.

11.5.8. Особенности применения удобрений на приусадебных участках

Общие положения по удобрению сельскохозяйственных культур применимы и для приусадебных участков под садами и огородами. Но имеется ряд особенностей, которые нужно учитывать. Применение удобрений на приусадебных участках – это не копирование на небольшой площади рекомендаций для крупных хозяйств. Цели, задачи, условия на них существенно отличаются. Здесь несколько другой ассортимент удобрений, больше доля органических удобрений. Применяется много ручного труда при внесении удобрений и имеется возможность применять эффективные, но трудно механизированные способы применения удобрений.

Подготовка удобрений. Для повышения урожайности следует использовать минеральные туки, органические удобрения, привозимые из крупных хозяйств, или получаемые в своем хозяйстве от скота и из растительных и бытовых отходов.

Из *минеральных удобрений* необходимы: аммонийная селитра, карбамид, сульфат аммония, суперфосфат, хлористый калий, аммофос, нитроаммофос, нитроаммофоска, растворимые удобрения для теплиц, микроудобрения (борные, молибденовые, цинковые, кобальтовые, медные, марганцевые).

Если привозится *навоз* (или получается в хозяйстве), его нужно сложить в штабель, укрыть землей и хранить до достижения необходимой степени разложения. Птичий помет пересыпается землей.

Бытовой мусор необходимо сортировать в процессе накопления, выделяя из него неразлагающиеся предметы: металл, стекло, пластмассу. Оставшаяся часть может использоваться для компостирования в специально отведенном месте в отдаленной от жилища части приусадебного участка. Компостирование бытовых отходов проводят с землей, остатками растений, сорняками. На компостной площадке можно сделать небольшое углубление.

Компостируемые материалы укладывают с одного края площадки высотой около 1 м, постепенно заполняя всю площадку. В начале площадки компост будет готов раньше. Его используют на удобрение, а на это место кладут новые отходы. Если компост пересыхает, его поливают водой. Можно сверху насыпать слой земли толщиной 15–20 см.

Бытовой мусор также можно использовать путем непосредственного внесения между деревьями в ямки размером примерно 30–40 см и глубиной 50–60 см. Сверху закрывают крышкой. По мере заполнения содержимое засыпают небольшими слоями земли. После заполнения сверху насыпают слой земли 15–20 см. Расположение таких ямок меняется по саду так, что на прежнее место ямка попадает не ранее, чем через 2–3 года. Такие ямки не делают на участке овощных культур. Также можно утилизировать другие отходы. Такой способ прост, гигиеничен.

Применение удобрений. *Основное удобрение.* Для повышения плодородия почвы на овощном участке и под неплодоносящие деревья применяют минеральные и органические удобрения. Их вносят осенью. Удобрения равномерно разбрасывают по участку. При некотором навыке этого добиться нетрудно. Минеральные удобрения берут горстями и, пропуская их между пальцами, добиваются сплошного равномерного внесения. Навоз или компост можно вносить вилами.

Нормы удобрений следующие. Из минеральных удобрений осенью обычно вносят фосфорное или фосфорно-калийное (в г/м²): суперфосфата двойного 15–20 г, хлористого калия 10–15 г. Органические удобрения вносят один раз в 3 года, то есть ежегодно удобряется одна треть участка. Полуперепревшего навоза вносят 3–5 кг/м², птичьего помета 1–2 кг/м².

После внесения удобрений участок перекапывают на глубину примерно 15–20 см. Под кроной деревьев, особенно вблизи штамбов, глубина должна быть небольшой. Перекапывать нужно, не повреждая корней. В случае повреждения крупных корней, рану смачивают 1 % медным купоросом и засыпают землей.

Азотные удобрения (аммонийная селитра 20–30 г/м² или карбамид 15–20 г/м²) лучше внести весной и неглубоко заделать в почву.

Под плодоносящие деревья азотные, фосфорные и калийные удобрения вносят осенью в кольцевую канавку или ямки по окружности кроны на глубину 15–30 см. Глубина устанавливается предварительными раскопками такой, чтобы не повреждать корни диаметром более 7–10 мм. Норма удобрения такая же, как и при внесении вразброс, исходя из площади приствольного круга.

Под ягодные растения удобрения вносят в неглубокую кольцевую канавку или с двух сторон рядка. Под виноград удобрения вносят весной в борозды, образовавшиеся при укрытии на зиму. Под землянику удобрения вносят под перекопку перед высадкой рассады.

Предпосадочное удобрение. При высадке рассады капусты, томата, посадке картофеля в лунки вносят смесь (в г на одну лунку): аммонийной селитры 1,5 и суперфосфата двойного 1 г или нитроаммофоску 2,5 г. К минеральным удобрениям можно добавить перегноя 100 г. При посадке тыквы дозу удобрения на лунку увеличивают в 6 раз, кабачка – 4 раза, дыни – 2 раза. Удобрения в лунке нужно перемешать с почвой.

Подкормка. Ранневесенняя подкормка проводится на посадках земляники в начале отрастания аммонийной селитрой 25 г/м² или карбамидом 17 г/м². Под озимый чеснок лучше внести сульфат аммония (как азотно–серное удобрение) 35 г/м². Удобрения вносят в междурядье и не заделывают.

Летняя подкормка овощных культур проводится раствором удобрений при поливе под корень из расчета 25–50 г удобрения на 10 л воды (по 0,5 л на одно растение). Чаще требуются азотные удобрения, реже азотно–фосфорные. Используются аммонийная селитра и суперфосфат или нитроаммофос. Подкормка проводится при слабом росте, признаках азотного или фосфорного голодания. Суперфосфат растворяется медленно. Действие подкормки становится заметным через 3–7 дней.

11.5.9. Система применения удобрений на лесных объектах

В лесном хозяйстве основным объектом применения удобрений являются лесные питомники, лесосеменные плантации и постоянные лесосеменные участки.

11.5.9.1. Применение удобрений в лесных питомниках

Применение удобрений в лесных питомниках направлено на увеличение выхода стандартного посадочного материала с единицы площади в посевном и школьном отделениях питомников, сокращение сроков его выращивания. Система применения удобрений состоит из следующих приемов: основное удобрение, вносимое в паровые поля под глубокую вспашку; предпосевное – примерно за 2 недели до посева или припосевное внесение в период посева семян; корневые и некорневые подкормки сеянцев и саженцев макро- и микроэлементами.

Удобрения в паровых полях. Для окультуривания парового поля осенью проводят глубокую вспашку плантажным плугом. При этом вносят от 40 до 80 т/га органических удобрений (в зависимости от типа почв) и фосфорно–калийные удобрения в норме P_{60–120}K_{60–120} (в зависимости от агрохимических свойств почвы). На кислых почвах следует проводить известкование. Для

этих целей применяют известковые туфы, озерную известь, мергель, торфотуфы, природную доломитовую муку. Норму извести устанавливают по гидролитической кислотности почвы.

Удобрения в посевах первого года. В год посева семян при выращивании сеянцев первого года применяют предпосевное удобрение и корневые подкормки. Для предпосевного внесения пригодны навозная жижа, аммонийная селитра, кальциевая селитра, калийная селитра, хлористый калий и суперфосфаты. Нормы внесения минеральных удобрений приведены в таблице 209 (Зеликов В.Д., Мальцев Г.И., 1986). В качестве припосевного удобрения используют гранулированный суперфосфат в количестве 15–20 кг/га под хвойные породы и 20–30 кг/га под листовенные.

Таблица 209– Нормы внесения минеральных удобрений на период выращивания посадочного материала

Почвы	Породы	Норма удобрений, кг/га д. в.							
		азотных с учетом содержания гумуса в почве, %			фосфорных с учетом обеспеченности почвы подвижным фосфором		калийных с учетом обеспеченности почвы калием		
		<2	2–4	>4	низкая	средняя	высокая	низкая	средняя
Подзолистые, дерново-подзолистые	хвойные	120–150	100–120	80–100	140–180	100–120	15–20 (в рядки)	120–140	90–100
Сероземы; черноземы оподзоленные и выщелоченные*	хвойные	–	90–110	60–90	120–150	90–120	15–20 (в рядки)	90–100	70–80
	лиственственные	–	60–80	50–60	100–120	80–100	20–30 (в рядки)	80–90	50–60
Типичные, обыкновенные южные черноземы*	хвойные	–	120–140	100–120	120–140	90–120		80–100	60–70
	лиственственные	–	100–120	80–100	100–120	80–100		80–100	60–70
Каштановые*	лиственственные	–	80–100	60–80	80–100	60–80		70–80	50–60

*Примечание: Содержание гумуса выше 2 %

В подкормки используют мочевины, аммонийную селитру, хлористый калий, аммофос и диаммофос, калийную селитру, нитрофос и нитрофоски. Подкормки азотными удобрениями рекомендуется проводить в дозах 20–40 кг/га д. в. Первую подкормку проводят после появления массовых всходов, последующие через 2–3 недели.

Удобрения в посевах второго года. Для сеянцев второго года выращивания применяют корневые подкормки азотом. Первую подкормку проводят ранней весной, сразу после таяния снега, вторую – спустя 3–4 недели в дозе N_{30–40}. На почвах легкого гранулометрического состава, где существует угроза вымывания калия из корнеобитаемого слоя, проводят весеннюю подкормку калийными удобрениями из расчета K_{40–60}. Подкормку фосфорными удобрениями проводят лишь в случаях, когда не было внесено основное фосфорное удобрение, а результаты агрохимического обследования свидетельствуют о низкой обеспеченности почв этим элементом.

11.5.9.2. Применение удобрений в лесных культурах, на лесосеменных плантациях и постоянных лесных участках

В лесных культурах применяют минеральные удобрения, позволяющие повысить приживаемость саженцев и интенсивность их роста. При создании лесных культур фосфорные ($P_{150-200}$) и калийные (K_{100}) удобрения вносят осенью при подготовке почвы и заделывают их на глубину вспашки в зону распространения основной массы корней. Азотные удобрения (N_{100}) вносят на второй–третий год после посадки при корневых подкормках. Повторные подкормки азотными удобрениями проводят через 5 лет из расчета N_{200} .

На всех типах почв вносят микроэлементы в дозах: молибден – 1 кг/га д. в., кобальт – 2, цинк – 5, бор – 1–2, медь – 5, марганец – 20 кг/га д. в.

Фосфорные и калийные удобрения при создании лесосеменных плантаций целесообразно вносить до посадки семян или саженцев, а на постоянных лесосеменных участках — после формирования коридоров достаточной ширины с применением разбрасывателей удобрений и последующей заделкой их плугами или тяжелыми дисковыми боронами.

На лесосеменных плантациях и постоянных лесосеменных участках эффективно выращивание сидератов. В качестве сидеральной культуры используют горчицу, вико-овсяную смесь, пелюшку, вигну и донник белый.

11.5.10. Питание и удобрение цветочных культур

Любовь к цветам – это стремление к прекрасному. Цветы законченностью своих форм, окраской и ароматом несут нам радость, поднимают настроение, дают заряд бодрости и энергии.

Н.П. Гладкий, 1977

Цветоводство – одна из наиболее интенсивных отраслей растениеводства, требующих большого количества кропотливого труда. Это и понятно, так как цветоводство формирует эстетические вкусы человека, т. е. удовлетворяет самые изысканные потребности в дизайне интерьера. Цветочные растения служат украшением как жилья, так и офисов. Растения в помещениях играют не только эстетическую, но и гигиеническую роль. Они улучшают микроклимат, успокаивающе действуют на нервную систему, улучшают настроение и повышают работоспособность людей. Поэтому потребность в цветах, в прекрасном у человека так же естественна, как и в хлебе насущном. Общение с природой, выращивание цветочных растений доставляет человеку немалую радость и удовольствие.

Для роста и развития цветочных растений необходимо сочетание факторов среды, характерных для того экологического района или зоны, откуда они произошли. Основными из них являются: тепло, свет, влага, воздух и почва, обеспечивающая растения элементами минерального питания и являющаяся механической опорой. Недостаток в почве питательных веществ ухудшает рост и развитие цветочных растений, и их внешний вид. Поэтому искусство их выращивания в значительной степени зависит от правильного использования удобрений, умения выбрать почву и составить необходимую земляную смесь. Почвы, бедные органическим веществом, даже при больших запасах питательных веществ, обладают плохой структурой, низкой влагоемкостью и микробиологической активностью. Внесение органических удобрений на таких почвах является основным приемом создания благоприятных условий для жизнедеятельности цветочных растений.

11.5.10.1. Подготовка почвы для посадки цветочных культур

Почвенные грунты, используемые для посадки цветочных растений, не имеют аналогов в природе, так как они составляются искусственно. Свойства их в значительной степени унаследованы от естественных почв данного района. В центральных и северных районах это подзолистые слабокислые почвы или торф; на юге – различные типы черноземов и каштановые почвы с присутствием нейтральной или слабощелочной реакцией; в засушливой зоне сероземов – слабогумусированные карбонатные почвы.

При составлении земляных смесей учитывают, что они должны обладать высоким плодородием, благоприятными физическими и химическими свойствами – влаго- и воздухоемкостью. Недостаток кислорода в тяжелосуглинистой почве замедляет рост растений, создает дефицит питательных веществ. На рыхлой структурной почве растения меньше страдают как от недостатка, так и от избытка солей. Почвенные грунты должны иметь высокую емкость поглощения и буферность для того, чтобы удерживать большое количество минеральных солей и постепенно отдавать их растениям. При этом очень важно перечисленные свойства сохранить длительное время, так как большое число цветочных культур – многолетники, и длительное время растут на этой почве без замены.

По содержанию органического вещества почвенные грунты классифицируют: до 10 % – низкое, до 30 – пониженное, 30–60 – среднее, свыше 60 % – высокое; по величине плотности их разделяют на рыхлые – 0,1–0,4 г/см³, средние – 0,5–0,7, уплотненные – 0,8–1,0 и плотные – свыше 1 г/см³. Для нормального развития растений количество воздуха в почве должно составлять не менее 15–20 %, а общая скважность – 50–60 %.

В соответствии с биологическими особенностями отдельных культур, для повышения питательной ценности и улучшения структуры составляются субстраты из четырех видов земли: дерновой, перегнойной, листовой и торфяной. Имея эти виды земли и песок, можно выращивать любые цветочные растения.

Дерновая земля должна обладать мелкокомковатой структурой, быть хорошо проницаема для воды и воздуха, содержать значительный запас питательных веществ. Ее заготавливают на участках с хорошим злаково-клеверным травостоем, глинистой и суглинистой почвой. Дерновую землю нельзя брать на заболоченных участках и кислых подзолах. Развитие осоки, хвощей и щавеля свидетельствует о кислой реакции почвы. Если дерновая земля содержит мало глины и много песка, полезно добавить в нее немного рыхлой промороженной или прокаленной глины. И наоборот, слишком глинистая земля улучшается песком.

Дерн нарезают в конце лета или начале осени плугом или лопатой пластами 30 x 30 см и толщиной 10 см. Некоторые растения требуют более легкую почву с небольшим количеством глины, но содержащую много перегноя и корней. Дерновый слой в этом случае должен быть от 6 до 8 см. Для глинисто-дерновой земли дернину режут с глинистой подпочвой до 15–20 см, но не глубже. Срезанный дерн складывают в штабеля послойно "травы к траве". Длина штабеля произвольная, ширина до 150 см, высота 100–150 см. Между дерниной кладут навоз и известь, это ускоряет разложение и обогащает землю азотом. Наверху штабеля делают желобок для отвода влаги. За лето штабеля не менее двух раз перемешивают бульдозерами и поливают водой, чтобы ускорить разложение дернины. На второй год перемешивание продолжают, и к осени второго года земля бывает готова. Осенью дерновую землю убирают в землехранилища: оставлять ее вто-

рой год под открытым небом нельзя, поскольку корни гнивают, земля теряет пористость и становится бесструктурной. Перед употреблением дерновую землю просеивают через грохот с диаметром отверстий 3–4 см, чтобы оставались комочки с горошину, но не крупнее лесного ореха. При пересадке кадочных растений комочки могут быть больше.

Дерновая земля тяжелая: плотность ее колеблется от 1,2 до 1,5 т/м³. Использовать ее можно два–три года, затем она становится непригодной для посадок. Дерновую землю как основу смесей используют для горшечной культуры летников – гвоздики, левкоя, пеларгонии и укоренения черенков, загнивающих в перегнойной земле, а также для цитрусовых и пальм.

Перегнойную землю получают из перепревшего парникового навоза, который осенью складывают в штабеля, как и дернину, и в течение летнего сезона несколько раз перемешивают. После окончательного разложения перегнойную землю применяют при составлении земляных смесей. Навозный перегной рыхлый, легкий, богат питательными веществами, что и способствует хорошему росту цветочных культур. В зависимости от вида навоза перегнойная земля может быть тяжелой или легкой (конский навоз). Плотность ее колеблется от 0,5 до 0,8 т/м³. В чистом виде перегнойную землю не применяют.

Торфяная земля состоит из слаборазложившихся растительных остатков. Заготавливают ее из торфа верховых и низинных болот, торфяной крошки. Торф складывают в штабеля высотой 40–60 см в смеси с навозом и известью, готовят в течение двух лет, периодически перелопачивая и поливая навозной жижей. Навоз и известь повышают питательность торфяной земли, в процессе подготовки кислотность торфа уменьшается. Эта земля имеет небольшую плотность – 0,4–0,6 т/м³.

Торфяная земля способна поглощать большое количество влаги, поэтому улучшает водно–воздушные свойства почвы с тяжелым гранулометрическим составом; употребляется в смеси с песком для посадки черенков; нужна при культуре азалий, камелий, гортензий, хороша для посева мелких семян; добавляется к дерновой земле с целью обогащения органическими веществами. Торфянистую землю не следует пересушивать, т. к. она медленно пропитывается водой. Во время хранения торфяная земля постоянно должна быть влажной.

Листовую землю получают из опавших листьев липы, орешника, клена, вяза, тополя, яблонь, груш. В листьях дуба и ивы содержатся дубильные вещества, поэтому они непригодны для получения листовой земли. Это легкая земля плотностью 0,4–0,6 т/м³. Листья сгребают осенью или весной в кучи, затем по мере разложения и уплотнения складывают в штабеля, где они минерализуются в течение двух лет. Пока листья лежат рыхло, их уплотняют и поливают, чтобы микробиологические процессы шли быстрее. На второй год их два–три раза перелопачивают, поливают навозной жижей, с которой вносят бактерии, ускоряющие гниение листьев. При разложении листьев в земле накапливаются кислоты, тормозящие дальнейший распад массы. Вредное влияние кислотности устраняют внесением в штабель во время перелопачивания гашеной извести из расчета 0,5 кг на 1 м³ неперепревших листьев.

Листовую землю используют для посева семян в ящиках; в смеси с торфом и песком (2:3:1 или 2:4:1) – как основу смесей для примулы, цикламена, антуриума, бегонии, цинерарии. Все виды готовой садовой земли хранят в специальных землехранилищах. Из них по мере необходимости готовят нужную смесь, которая в зависимости от соотношения компонентов может быть тяжелой, средней или легкой. В тяжелой почвенной смеси содержится по

объёму три части дерновой, одна – перегнойной или листовой и одна часть песка, в средней – по две части дерновой и перегнойной (листовой) земли и одна – песка, в легкой – одна часть дерновой, три – перегнойной (листовой) земли и одна часть песка.

Большое значение для роста и развития цветочных культур имеет и реакция почвы, от которой зависят доступность для растений элементов минерального питания и степень их поглощения. Оптимальные значения показателя рН для цветочных растений приведены в таблице 210 (Шеуджен А.Х., Котляров Н.С., Куркаев В.Т. и др., 2004).

Таблица 210 – Оптимальное значение реакции почвенной среды для цветочных растений

Растение	Оптимум рН	Растение	Оптимум рН
Клематис	5,5–6,5	Тюльпан	6,5–7,5
Роза	6,0–6,5	Пион	6,8–7,0
Гладиолус	6,0–7,0	Ирис	5,0–7,0
Лилия	6,0–7,0	Георгин	6,0–7,0
Нарцисс	6,6–7,2	Гортензия	4,0–6,5
Цикламен	5,5–6,5	Флокс	6,5–7,0
Гвоздика	6,0–6,8	Хризантема	5,5–7,5
Сирень	6,0–7,0	Астра	6,4–7,4
Актиния	5,5–6,5	Жимолость	6,0–7,0
Пуансеттия	6,0–6,5	Вистерия	6,5–7,0
Нерина	6,7–7,0	Калла	5,5–6,5
Альстремерия	5,5–6,0	Кальцеолярия	7,0–7,5
Гиппеаструм	6,3–6,8	Гербера	6,5–7,5
Пеларгония	5,6–6,5	Анемона	6,0–6,5
Глоксиния	5,5–6,0	Примула	6,0–6,2
Азалия	4,5–5,5	Фрезия	6,0–7,0

Кислотность субстрата определяется содержанием свободных или обменных ионов водорода. В известкованных нейтральных субстратах, насыщенных кальцием, подвижный водород почти отсутствует и больших различий в результатах анализа между водной и солевой вытяжками не бывает. Поэтому в нейтральных субстратах кислотность можно определять как в солевой, так и в водной вытяжке, а в исходных материалах для составления почвенных смесей кислотность (рН) определяют в 1 н растворе КСl, при этом учитывают и количество обменных ионов водорода. При определении кислотности в водной вытяжке принимают во внимание только содержание свободных ионов водорода. Поэтому кислотность по солевой всегда выше кислотности по водной вытяжке. На кислотность субстрата влияют жесткость воды и подкисляющее действие удобрений. В зависимости от величины $pH_{КСl}$ тепличный субстрат может быть: кислый, нейтральный или щелочной; при рН 2,5–3,5 – сильнокислый (такая кислотность бывает только у верхового торфа), рН 4–5,4 – кислый, рН 5,5–6,4 – слабокислый, рН 6,5–7,5 – нейтральный, рН выше 7,5 – щелочной.

Для снижения кислотности почвы проводят известкование почвы и используют физиологически щелочные удобрения. При необходимости подкисления субстрата добавляют кислый верховой торф, применяют физиологически кислые минеральные удобрения, либо в поливную воду добавляют кислоты. Повторно почвы известкуют через 8–10 лет при новом повышении кислотности.

11.5.10.2. Удобрение цветочных культур

Рациональная система удобрения цветочных культур на земельных смесях возможна только на основании данных химического анализа почвы. В связи с тем, что тепличные субстраты представляют собой искусственные смеси различных органических и минеральных компонентов, они существенно отличаются агрохимическими характеристиками от естественных почв. В силу различной плотности субстратов обеспеченность почв питательными элементами определяют в миллиграммах на 1 л субстрата, а не в миллиграммах на 1 кг воздушно-сухой массы почвы, как это принято обычно в агрохимии.

Для агрохимической оценки тепличных почв применяют различные методы, которые отличаются химическими соединениями для извлечения условно доступных растениям питательных веществ. В зоне подзолистых почв содержание фосфора и калия определяют по методу Кирсанова (0,2 н солянокислая вытяжка), в зоне некарбонатных черноземов – методом Чирикова (0,5 н уксусная кислота), в зоне карбонатных черноземов, каштановых, бурых почв и сероземов – методом Мачигина (1 % карбонат аммония). Нитратный азот, кальций и магний во всех почвах определяют в водной вытяжке, аммонийный азот – после определения рН (в 1 н KCl).

Вследствие использования различных способов извлечения из почвы подвижных питательных веществ абсолютные их количества, полученные тем или иным способом и рассчитанные на 1 л субстрата, неодинаковы.

В цветоводстве широко пользуются методом определения содержания легкодоступных для растений питательных элементов в водной вытяжке, т. е. так называемым голландским методом. На основе этого метода в нашей стране разработан метод определения при соотношении субстрата и воды по объему 1 : 2. В этом случае для средне- и солеустойчивых культур оптимальными считают содержание азота (N) – 80–150 мг/л; фосфора (P_2O_5) – 30–40; калия (K_2O) – 150–200 и магния (Mg) – 50–80 мг/л. Такое содержание питательных элементов можно получить от внесения разного количества удобрений, поскольку содержание действующих веществ в разных видах удобрений неодинаково. В силу этого общая концентрация солей при оптимальном содержании азота, фосфора и калия может быть различной.

Свойство аниона фосфорной кислоты хорошо удерживаться почвой позволяет вносить всю годовую норму фосфорных удобрений за один прием перед посадкой растений. В то же время чрезмерное содержание фосфора нарушает поглощение железа, марганца и нитратного азота, в форме которого представлен почти весь доступный азот в тепличных субстратах, за исключением периодов, когда субстрат охлажден и возможно накопление аммонийного азота.

Азотные и калийные удобрения могут сильно повышать концентрацию солей в субстрате, однако при обильном поливе и хорошем дренаже они быстро вымываются, поэтому некоторое их количество вносят как основное удобрение перед посадкой растений, а затем добавляют в подкормки.

Общая допустимая концентрация водорастворимых солей в субстрате зависит от его состава и находится в прямой зависимости от содержания гумуса. Чем выше его содержание, тем выше допустимый предел концентрации водорастворимых солей. В цветоводстве широко используют субстраты с высоким содержанием пассивного органического вещества (древесные опилки, кора, солома), не обладающие большой емкостью поглощения катионов и буферностью, что не позволяет увеличивать концентрацию солей так высоко, как это

допустимо при использовании перегноя или торфа. Ориентировочно считают, что для среднесолевыносливых культур на среднеплотных субстратах с пониженным содержанием органического вещества (плотность 0,8 г/см³) верхний предел содержания водорастворимых солей равен 5,5 г/л, а на верховом торфе – 7 г/л, для солевыносливых культур соответственно 6 и 8 г/л.

Из-за большого разнообразия грунтов в разных зонах и хозяйствах трудно установить точные дозы удобрений, вносимых перед посадкой растений. Однако известны оптимальные уровни содержания питательных элементов в субстратах для разных культур, на которые и ориентируются специалисты (табл. 211-212; Висящева Л.В., Соколова Т.А., 1991).

Таблица 211 – Оптимальное содержание питательных веществ в почве при возделывании гвоздики, хризантемы и розы, мг/л

Почва	Метод определения фосфора и калия	Гвоздика, хризантема			Роза		
		N _{мин.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{мин.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Подзолистые почвы, торф Некарбонатные черноземы Карбонатные черноземы, сероземы, каштановые почвы	Кирсанова	150–250	600–800	400–600	100–200	500–800	400–600
	Чирикова	100–150	250–400	350–500	80–150	250–400	300–450
	Мачигина	100–150	100–200	500–800	60–150	80–150	500–700

Таблица 212 – Оптимальное содержание питательных элементов (мг/г), общая концентрация солей в подстилочном торфе (%) и его кислотность (рН)

Элемент, рН, общая концентрация солей	Гвоздика	Роза	Гербера	Фрезия	Хризантема	Цикламен	Азалия
N	150–250	150–250	150–250	150–250	150–300	150–300	80–120
P	120–200	250–400	120–200	120–200	150–200	150–200	50–100
K	300–450	350–500	300–450	350–500	400–600	350–500	80–160
Ca	2500–4500	4500–6000	3500–4500	2300–4200	2800–4200	2600–3800	500–1000
Mg	550–700	700–900	550–760	400–700	500–800	400–600	100–150
Fe	150–250	800–1600	150–250	150–250	150–400	150–200	120–200
Cu	8–16	8–15	12–16	10–15	10–15	10–20	10–15
Zn	8–16	30–60	8–16	8–16	8–16	6–10	4–8
Mn	12–16	80–150	8–16	8–16	6–10	6–10	4–8
Mo	0,1–0,25	0,08–0,2	0,04–0,1	0,08–0,2	0,08–0,2	0,08–0,2	0,08–0,2
B	1,5–2,5	1–2	1,5–2,5	1–2	1,5–2,5	1,5–2,5	1–2
Cl	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
рН	6–6,8	5,8–6,5	4,5–5	5,5–6,5	5,5–6	5,2–6	4–4,5
Общая концентрация солей	2,5–3,5	2,5–3	1,5–2,5	1,5–3	2,5–4,5	1,5–3,5	0,5–1

Примечания: 1. Анализы ведут в вытяжке 1 н. HCl. 2. Оптимальный состав субстрата для герберы приведен по Л. Гутмане, для остальных культур – по В. Ноллендорфу. 3. Для перевода содержания P в P₂O₅ следует использовать коэффициент 2,29, а K в K₂O – 1,2.

Нижнюю границу оптимального содержания питательных элементов поддерживают на уплотненных почвах, на участках с вновь посаженными растениями, а также в начале и конце вегетационного сезона у многолетних культур; верхнюю – на почвах рыхлых, обогащенных органическим веществом в период интенсивного роста.

Содержание кальция и магния, как правило, во всех почвах определяют в водной вытяжке. При этом для некарбонатных почв оптимальным является содержание 60–120 Мг и 350–500 мг/л Са. В зоне карбонатных почв содержание этих элементов, и в первую очередь кальция, выше.

Дозы внесения удобрений определяют по результатам анализов субстратов и содержанию питательных элементов в растениях с учетом степени их развития. На основании этого корректируют и рассчитывают дозы удобрений для подкормок.

Содержание питательных элементов в растениях оценивают методом листовой диагностики (табл. 213; Висящева Л.В., Соколова Т.А., 1991).

Таблица 213 – Содержание питательных элементов в листьях (макроэлементы – в %, микроэлементы – в мг/л)

Элемент	Гвоздика	Роза	Гербе-ра	Хри-занте-ма	Цанте-дешия	Пау-н-сет-тия	Фре-зия*	Цик-ла-мен	Азалия
N	3–4,5	3–4,5	2,5–3,5	3–4,5	4–5,5	3,5	3,3	2,5	2
P	0,25–0,5	0,25–0,5	0,3–1	0,25–0,5	0,3–0,6	0,6	1,2	0,3	≥0,3
K	2,5–5	1,8–2,6	2,2–4,3	2,5–5	3,5–5,5	2,4	3,2	2,5	0,8
Ca	1–2	0,8–2	1,6–2,2	1,2	0,5–1	1,1	0,7**	1	0,22–2,6
Mg	0,25–0,2	0,25–0,5	0,8–1,2	0,25–0,5	0,5–0,8	0,6	0,3	0,4	0,17
Fe	120–300	120–300	120–250	120–30	120–300	161	183	150	100–400
Cu	10–20	8–16	6–30	10–20	10–20	7	14	12	8–20
Zn	30–80	20–50	100–150	30–80	40–100	33	63	40	30–80
Mn	50–150	50–100	150–250	50–150	50–150	61	109	60	≥100
Mo	1–5	1–5	1–5	1–5	1–5	3	2,4	3	1–20
B	30–60	30–60	30–60	30–60	30–60	31	51	60	30–80

*Культуры, не имеющие научно разработанных "оптимумов" содержания питательных элементов в листьях. Приведены средние данные анализов лучших по развитию растений.

**При таком уровне кальция на листьях частично проявляются признаки его дефицита.

Для листовой диагностики отбирают молодые листья, которые только что закончили рост и достигли нормальных размеров. У гвоздики для анализа берут пятую, считая от верхушки побега, пару листьев в конце стадии бутонизации, когда можно определить окраску бутона. В такой же фазе отбирают на анализ листья розы – верхние трехлистники и первый пятилистник.

Удобрения вносят весной или осенью при обработке почвы и заделывая на глубину корнеобитаемого слоя, а также непосредственно в посадочные лунки или бороздки. В период вегетации цветочных растений проводят корневые и некорневые подкормки.

Эффективность минеральных удобрений зависит от норм, сроков и способов их внесения (табл. 214; Висящева Л.В., Соколова Т.А., 1991). Большое значение имеют также влажность, кислотность, гранулометрический состав почв.

Удобрения в подкормки лучше всего вносить в растворенном виде. Наиболее благоприятные условия создаются при использовании водных растворов с осмо-

тическим давлением 100 кПа. В зависимости от вида удобрений такой раствор образуется при разной концентрации солей. Для получения раствора с осмотическим давлением 100 кПа в 1 м³ воды надо растворить одно из следующих удобрений, кг: аммонийной селитры – 1,8; сульфата аммония – 2,0; кальциевой селитры – 2,7; калийной селитры – 2,3; сульфата калия – 2,6; сульфата магния – 5,4; мочевины – 2,6; натриевой селитры – 1,9; карбоната калия (поташ) – 2. Для взрослых растений в период интенсивного роста осмотическое давление можно увеличивать до 130–150 кПа, для молодых – уменьшать до 50 кПа.

Таблица 214 – Примерные нормы внесения минеральных удобрений под цветочные культуры, г/м³

Удобрение	Норма внесения	Удобрение	Норма внесения
Аммонийная селитра	15–25	Хлористый калий	9–11
Мочевина	10–15	Нитроаммофос	40–50
Суперфосфат простой	25–33	Аммофос	40–50
Сульфат калия	10–15	Нитрофоска	40–60

Наряду с макроэлементами тепличные грунты и растения должны быть обеспечены микроэлементами, дефицит которых проявляется как при их недостатке, так и при несбалансированном содержании других элементов. Например, недостаток железа, марганца и цинка часто является следствием избыточного содержания кальция и фосфора. На кислых почвах марганец подвижен и может вызвать токсикоз у растений. Медь и цинк вступают в соединения с гуминовыми веществами почвы, образуя малодоступные для растений органические комплексы. Поэтому на перегнойных почвах и торфе нужно обязательно вносить медные и цинковые удобрения или делать подкормки. Молибден плохо доступен в кислой среде, он может связываться с органической частью почвы, что и приводит к необходимости вносить его в тепличные грунты.

Почвы, обогащенные навозом и перегноем, обычно хорошо обеспечены микроэлементами. Стабильность состава, присущая верховому торфу, позволяет конкретизировать дозы микроудобрений для этого субстрата.

Для подкормок, которые проводят от 1 до 3 раз за сезон, используют следующее количество удобрений (г/м³ воды): борная кислота – 5–15; сернокислые соли железа – 40–80; медь – 2–5; марганец – 6–8; цинк – 2–3; молибденово-кислый аммоний – 0,3–0,5.

В периоды, когда поглощение питательных элементов корнями растений затруднено, что может иметь место при охлаждении субстрата или при недостаточном освещении, наиболее эффективны некорневые подкормки. Для них используют на 1 м³ воды 1–1,2 кг суперфосфата; 0,8–1 – аммонийной селитры; 0,7–1 – сульфата калия; до 2 – мочевины и 1,5–2 кг сульфата магния, а также 0,1–0,5 % сульфата железа; 0,1–0,2 – борной кислоты; 0,02–0,05 – сульфата меди; 0,05–0,15 – сульфата цинка; 0,05–0,1 – сульфата марганца и 0,01–0,02 % молибдата аммония.

Требования цветочных растений к удобрениям очень индивидуальны, но для большинства культур положительные результаты дает регулярная подкормка полным минеральным удобрением, т. е. азотом, фосфором и калием. При удобрении растений необходимо учитывать их биологические особенности и фазу вегетации. Нельзя удобрять только что пересаженные и не успевшие укорениться растения, а также больные или находящиеся в периоде по-

коя. Подкормку начинают не раньше чем через две недели после пересадки, когда растение успеет хорошо укорениться. При удобрении сначала следует вносить азот, в период бутонизации – фосфор; при образовании плодов, клубней, луковиц – калий. Медленно развивающиеся растения удобряют один раз в декаду, быстроразвивающиеся и крупные – два раза. Цветущие растения начинают подкармливать после появления бутонов и продолжают подкармливать до конца фазы цветения. Подкормки следует проводить перед заходом солнца, после вечерней поливки. В холодную дождливую погоду растения не подкармливают из-за низкой эффективности таких подкормок. Подкормки оказывают положительное действие лишь в том случае, когда все прочие условия благоприятны и не было допущено никаких нарушений в агротехнике возделывания растений.

При внесении удобрений необходимо учесть, что для растений вреден как недостаток, так и избыток элементов минерального питания (табл. 215; Шеуджен А.Х., Котляров Н.С., Куркаев В.Т. и др., 2004).

Таблица 215 – Реакция цветочных растений на условия произрастания

Внешний вид растения или его частей	Причина
Растения карликовые, листья развиваются плохо: желтоватый цвет листа сероватый цвет листа Высокие веретенообразные растения с листьями серо-зеленого цвета	Недостаток азота Недостаток фосфора и калия Плохое снабжение водой, избыток растворимых солей, недостаток света внизу у земли, загущенная посадка
Хлороз, или пожелтение листа: ровное пожелтение листа	Недостаток железа, избыток карбонатов магния, кальция, натрия и калия, избыток марганца
пятнистость начинающаяся у средней жилки пожелтение и отмирание листьев, начинающееся по краям и идущее внутрь пожелтение и отмирание с листьев, начинающееся у краев жилки и расходящееся по всему листу	Недостаток магния Недостаток калия Недостаток азота
Преждевременное опадание листьев Богатая зеленая листва и большие толстые стебли	Недостаток кальция, магния Обильное снабжение азотом
Темно-окрашенные листья, склонные к свертыванию Пятнистость листьев, иногда темно-зеленого, иногда серого цвета Очень хилые корни	Недостаток калия по сравнению с азотом Повышенная кислотность почвы Недостаток кальция или фосфора, воздуха, влаги, глинистая почва
Много мочковатых корневых образований	Хороший доступ воздуха, песчаная почва
Позднее созревание семян	Избыток воды, азота, недостаток фосфора
Семена не вызревают	Большой недостаток калия

При использовании гидропонного метода выращивания цветочных растений в субстраты подают питательные растворы, которые готовят один раз в два–три месяца и каждые 7–15 дней корректируют. В холодное время года раствор подогревают до 20–25 °С. Он должен иметь слабокислую реакцию (рН 5,5–6,5), так как в нейтральной и щелочной среде железо выпадает в осадок и становится недоступным для питания растений. Для устранения хлороза применяют хелаты железа (Fe-ДТПА), позволяющие иметь железо в растворе в подвижном состоянии и при рН 7. Препарат Fe-ДТПА вносят в раствор один раз в месяц в количестве 300–500 мл на 1 м³ раствора.

Цветочные культуры в зависимости от требовательности к элементам питания можно разделить на следующие группы:

- 1) малотребовательные: азалия, кактус, орхидея;
- 2) среднетребовательные: бегония, петуния, примула, кальцеолярия;
- 3) требовательные: цикламен, фрезия, цинерария, гербера, калла, пеларгония, гортензия, гloxиния;
- 4) очень требовательные: гвоздика, хризантема.

Значительно различается и солечувствительность цветочных культур, отсюда различие в дозах основного удобрения для приготовления субстрата по группам культур.

Для рассады и малотребовательных культур микроэлементы вносят с основным удобрением, а для требовательных культур с длительным периодом выращивания их применяют в виде подкормок. Чаще всего требуется внесение железа, меди и бора.

В период вегетации цветочных культур основное внимание обращают на кислотность и концентрацию водорастворимых солей. После урегулирования этих показателей вносят недостающие растениям элементы питания в соответствии с агрохимическим анализом почв. В период вегетации для снижения избыточной кислотности субстрата вносят только мел и физиологически щелочные удобрения.

Азалия – вечнозеленый или густоветвистый полувечнозеленый прямостоячий кустарник высотой до 100–120 см. Ее размножают полуодревесневшими черенками, которые получают с апреля по сентябрь или в январе с растений возрастом до двух лет. Субстраты для укоренения черенков азалии должны быть рыхлыми и влагоемкими с рН 3,8–4,5.

В связи с узким диапазоном оптимальной кислотности субстрата исключительно важным фактором является жесткость поливной воды. Использование очень жесткой воды вызывает подщелачивание субстрата. В результате снижается доступность железа, марганца и других микроэлементов и растения сильно страдают от хлороза листьев.

Использование очень кислого торфа (рН_{КС1} ниже 3,5) и полив мягкой водой вызывают недостаток кальция, возможен также избыток марганца. Для полива растений непригодна вода с высоким содержанием растворимых солей, так как азалия – солечувствительная культура. При избытке солей растения теряют листья и быстро погибают. Иногда можно наблюдать вредное действие избытка хлора. В данном случае более старые листья приобретают сине–зеленую окраску. Позднее они становятся красно–бурыми, засыхают с конца и загибаются кверху. При этом содержание хлора в воздушно–сухих листьях достигает более 1 %, а у выносливых сортов – даже 2 %.

Для полива азалий подходит вода с жесткостью 28–43 ммоль-экв./л. При использовании более мягкой воды следует в каждой третьей или четвертой подкормке применять кальциевую селитру. Очень жесткую воду подкисляют

обычно серной кислотой из расчета 25–30 мл концентрированной H_2SO_4 на 1 м^3 воды для снижения жесткости на 1 ммоль-экв.

При посадке азалий на 1 м^2 верхового торфа вносят 1–2 кг мела или известняковой муки. Дозу известкового материала выбирают с учетом исходной кислотности торфа и жесткости поливной воды. Чтобы избежать недостатка кальция в начале роста растений, следует вносить известковую муку в любом случае, по 1 кг мела или известняковой муки. Азалию выращивают на субстратах, весьма разных по составу. Субстраты на основе торфа: верховой чистый торф; торф и опилки (1 : 3 – 1 : 2); торф, опилки, дерновая земля (1 : 0,5 : 1). Субстраты на основе листовой земли: листовая земля, торф (1:1); листовая земля, опилки (1 : 2). Любой субстрат должен иметь плотность порядка 0,2–0,4 г/см³, обладать невысоким плодородием и большой влагоемкостью. Содержание питательных элементов в субстратах из-за низкой устойчивости растений должно быть невелико и поддерживаться подкормками удобрений (табл. 216; Висящева Л.В., Соколова Т.А., 1991).

Таблица 216 – Оптимальное содержание (мг/л) питательных элементов в субстрате для азалии (в вытяжке 1 н НСl)*

Возраст растений	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Укорененные черенки	40–80	100–120	80–120	100–200	30–50
Молодые растения	80–120	130–170	120–130	100–200	30–50
Взрослые растения	100–150	180–220	180–200	100–200	30–50

* дополнен А.Х. Шеудженом

Подкормки азалии проводят 0,1–0,2 %-ыми водными растворами питательных веществ из расчета 5 л/м² с конца февраля по сентябрь, через каждые 7–10 дней. Положительно влияет на растения чередование азотных подкормок (3–4 г азота на 10 л воды) с калийными (по 2–3 г K₂O на 10 л воды). Через одну-две подкормки в субстрат вносят раствор, содержащий 0,13 мг/л бора; 0,03 – цинка; 2 – железа; 0,1 – марганца; 0,02 – молибдена; 0,06 мг/л меди.

Азалия очень чувствительна к недостатку азота, кальция, железа, меди и к избытку калия, марганца и бора.

Актинидия – древовидная лиана с вьющимся стеблем, обвивающим опоры в направлении против движения часовой стрелки. Это растение полутенистых, хорошо обеспеченных влагой мест обитания. Благоприятны для нее рыхлые суглинистые плодородные почвы с высоким содержанием гумуса и слабокислой или нейтральной реакцией почвенного раствора. Легкие песчаные почвы, не удерживающие влагу и быстро подсыхающие, как и тяжелые глинистые, на которых застаивается вода, малоблагоприятны для актинидий. Для нее важно также, чтобы верхние слои почвы имели структурное строение, а нижние были обеспечены дренажем.

Актинидии размножаются семенами и вегетативным путем. При семенном размножении, предусматривающим выращивание рассады, семена смешивают с песком и высевают в посевные ящики, размером 40 x 30 x 12 см, которые наполняют рыхлой почвой. Посадка актинидии на постоянное место проводится на 3-й год жизни сеянцев.

Перед посадкой актинидии корни смачивают глиняной болтушкой. После посадки необходимы полив из расчета 50–60 л воды на растение и мульчирование

приствольных кругов. При выборе участка для возделывания актинидии необходимо учитывать ее биологические особенности – влаго- и светолюбие. В связи с этим, если местность безлесная, то насаждения актинидий можно расположить в узких долинах мелких речек и ручьев или в балках. На ровной местности насаждения следует приурочивать к рекам, озерам или другим водоемам и обязательно закрывать плантацию от ветров лесными или садовыми насаждениями.

Подкормки актинидии в период ее вегетации проводят 2–4 раза полным минеральным удобрением, отдавая предпочтение комплексным удобрениям (нитрофоска, нитроаммофоска) из расчета 10–20 г на 10 л воды на 1 м² посадочной площади.

Альстремерия – многолетнее корневищное растение; размножают делением корневищ дважды в год: в период летнего полупокоя, сразу по окончании цветения, или осенью, после второго цветения растений.

Наилучшие условия для роста и развития альстремерии создаются при содержании в субстрате элементов питания в следующих пределах: 120–150 мг/л N, 100–150 – P₂O₅, 300–350 – K₂O, 250–350 – Ca, 50–60 мг/л Mg и pH 5,5–6,0. При хорошей обеспеченности растений элементами питания в листьях альстремерии содержится 5 % азота и 3,7–4 % калия.

Во время интенсивного роста растения альстремерии один раз в 10–14 дней подкармливают 0,1 % водным раствором полного удобрения. Хорошие результаты дают также корневые подкормки органическими удобрениями.

Альстремерия использует в среднем следующее количество элементов питания из нитрофоски: 45 % азота, 27 – фосфора и 63 % калия. Максимальное поглощение питательных веществ альстремерией приходится на период кущение – цветение растений. В течение вегетации альстремерия наиболее интенсивно поглощает азот и калий; максимальное потребление калия происходит в фазу кущения, а азота – в период бутонизации. Фосфор усваивается наиболее интенсивно на ранних фазах развития растений, и его потребление лишь незначительно изменяется в течение вегетации. Кальций поглощается альстремерией в течение всего вегетационного периода, а максимальное поступление магния в растения происходит в фазу цветения.

Анемона – многолетнее клубневое растение; размножают семенами и вегетативными способами – клубеньками и делением клубней. Семена высевают в ящики (парник) с легким питательным субстратом: листовая, перегнойная, дерновая земля, песок в соотношении 1:1:2:1. Сеянцы пикируют в фазе одного–двух настоящих листьев в почвенную смесь, состоящую из листовой, перегнойной и дерновой земли в соотношении 1:1:1. Слой субстрата составляет 12–15 см, pH 6,0–6,5.

В течение вегетации проводят еженедельно подкормку 0,1 % водным раствором полного минерального удобрения в соотношении N:P:K, равном 1,5:1:1,5. В конце фазы цветения растений подкормки анемоны прекращают.

Астра. В культуре распространены многолетние и однолетние виды астр. Однолетние принадлежат к числу лучших, красиво и продолжительно цветущих растений. Цветут они в конце лета и осенью. По своей природе астра холодостойкая, светолюбивая и влаголюбивая культура, но не выносящая застоя воды на поверхности почвы. Корневая система у нее поверхностная, поэтому как пересушивание, так и затопление водой губительно для растений. Астры удаются на любых хорошо удобренных, супесчаных, легких и среднесуглинистых почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией. Во избежание грибковых заболеваний свежий навоз непосредственно под астры не

вносят. Органические удобрения вносят исключительно под зяблевую вспашку, когда есть уверенность, что они полностью минерализуются.

Астры размножаются посевом семян в грунт и рассадой. Участок для посева семян готовится заранее – сразу после уборки предшественника: проводят зяблевую вспашку или перекапывают, добавляют песок, перегной (10–20 кг/м²) и минеральные удобрения из расчета: 10 г/м² аммонийной селитры, 25 – простого суперфосфата и 15 г/м² калийной соли. На полях с повышенной кислотностью проводят известкование, в зависимости от степени кислотности вносят известь-пушенку из расчета 40–60 г/м².

Для раннего цветения и семеноводческих целей астры сеют в теплице в середине марта. Для посева и последующей пикировки используют субстрат, состоящий из трех частей дерновой земли, одной части песка и одной части хорошо выветренного торфа. При использовании свежего торфа добавляют известь. В возрасте 2-х настоящих листьев всходы пикируют. После укоренения вместе с поливом проводят подкормку полным минеральным удобрением в соотношении NPK, равном 1 : 2 : 3. На 10 л воды берут 25–35 г удобрений. Можно в подкормках использовать калийную селитру, как источник азота и калия, добавляя на 20 г селитры 15 г суперфосфата на 10 л воды.

В период вегетации астры проводят три подкормки. Первую подкормку проводят в период закладки у растений бутонов, что совпадает с развитием у астры 4–5 пар настоящих листьев. В этот период вносят аммонийную селитру из расчета 20 г/м². Вторую подкормку производят с началом фазы бутонизации полным минеральным удобрением из расчета: аммонийной селитры 15–20 г/м², простого суперфосфата – 25–30, калийной соли 20–30 г/м². Третья подкормка – в конце фазы цветения растений – фосфорно-калийная (по 30 г/м²).

Для получения крупных и ярких соцветий необходимо в июне-июле провести некорневую подкормку астр несколько раз (от 2 до 6) водным раствором минеральных удобрений, состоящим из смеси аммонийной селитры (0,2 %), простого суперфосфата (0,2 %) и хлористого калия (0,2 %). Подкормку проводят в виде опрыскиваний растений так, чтобы они все покрылись микроскопическими каплями рабочего раствора.

Вистерия (глициния) – листопадная лиана, достигающая в высоту 10 м, с повислыми ветвями. Она хорошо растет и развивается на рыхлых и плодородных почвах. Вистерия – обильноцветущее растение; неплохо растет на сухих и песчаных почвах, так как у нее длинные, глубоко проникающие в почву корни. Эта культура требовательна к условиям освещенности, особенно в фазу цветения растений. Вистерия начинает цвести и плодоносить с 3–5 лет. В течение одного вегетационного периода у вистерии может наблюдаться повторное цветение, но с более короткими кистями. В жаркую погоду у растений сокращается период цветения, в дождливую погоду цветки приобретают махровую форму, загнивают и опадают.

Вистерия выносит полутень, но лучше растет на освещенных местах; выдерживает морозы до –20°C; среднезасухоустойчивая, но не выносит загазованности воздуха. Размножается семенами, отводками, черенками и прививкой на корнях. Семена высевают в теплице в декабре-январе или в открытом грунте ранней весной. В производственных условиях для вистерии более приемлемо зеленое черенкование. Значительно повышает процент укоренения обработка зеленых черенков раствором индолилуксусной кислоты в концентрации 100 мг/л воды.

Под посадки вистерии весной вносят полное минеральное удобрение в соотношении N:P:K 1:2:1 из расчета 25–30 г/м² посадочной площади. Удобрение

ния равномерно рассыпают по поверхности почвы и следом заделывают. В период вегетации вистерии проводят подкормки полным минеральным удобрением из расчета 10–20 г/10 л воды на 1 м² посадочной площади.

Гвоздики светолюбивы, зимостойки, засухоустойчивы, предпочитают легкие суглинистые и песчаные почвы, хорошо заправленные органическими удобрениями. Размножают эту культуру семенами, черенкованием, реже отводками.

Гвоздика относится к растениям, которые имеют относительно слаборазвитую корневую систему по отношению к большой надземной массе. В то же время они потребляют большое количество питательных элементов. Поэтому состав почвы, ее физические и химические свойства должны способствовать лучшему развитию корневой системы.

Участок, отведенный под гвоздику, в течение всего сезона должен находиться в чистом от сорняков и рыхлом состоянии. Свежий навоз вносят из расчета 40–60 т/га осенью под зяблевую вспашку. Высевают семена в мае. На постоянное место в грунт рассаду высаживают в конце лета – августе. При безрассадном способе семена высевают в начале июля, а затем прореживают всходы. Гвоздика очень отзывчива на удобрения. Недостаток азота вызывает пожелтение листьев и сильное отставание растений в росте, фосфора – замедляет созревание семян. При недостатке калия стебли становятся непрочными, гибкими, листья коричневыми и отмирают.

С появлением у всходов трех настоящих листьев проводят первую подкормку, расходуя на 10 л воды 10 г аммонийной селитры, 20 г калийной соли и 15 г простого суперфосфата. Через 10–12 дней подкормку гвоздики повторяют. На постоянном месте растения подкармливают при хорошем укоренении. В 10 л воды растворяют 30 г сульфата аммония, 20–25 г сернокислого калия и 30 г простого суперфосфата. Проводят две–три таких подкормок. Со второй декады августа из состава удобрений исключают азотные, увеличивают дозу калийных до 30–40 г и суперфосфата до 50 г/10 л воды. Последующую подкормку этими же дозами удобрений дают в конце первой декады сентября.

К осени растения гвоздики успевают развить куст с сильно ветвящимися укорененными побегами. Весной сразу после таяния снега между рядами вносят минеральные удобрения из расчета 15 г аммонийной селитры, 20 – сернокислого калия и 25 г простого суперфосфата на 1 м². Удобрения заделывают при рыхлении участка. Необходимость последующих подкормок определяется в первую очередь агрохимическими показателями, характеризующими плодородие субстрата и условия роста растений. Оптимальное содержание азота в листьях гвоздики – 2,8–4,0 %; фосфора – 0,7–1,2; калия – 3,5–5,0; кальция – 1,0–1,8 %. Для диагностики обеспеченности растений азотом, фосфором и калием анализируют пятую–седьмую пару листьев, считая от верхушки побега; для определения кальция – молодые, только что закончившие рост листья.

Подкормки гвоздик проводят обычно каждые 10–14 дней. Растения лучше всего подкармливать 0,1–0,15 % водными растворами, но для субстратов, приготовленных на основе минеральных почв, с повышенным и высоким содержанием органического вещества допустимо применение растворов с концентрацией 0,2 %. Гвоздика – относительно солевыносливое растение. Она обладает большой избирательной способностью к питательным элементам, содержащимся в субстрате, поэтому сравнительно мало реагирует на некоторые отклонения в питании и не испытывает угнетения при широком интервале кислотности субстрата. Однако увеличение содержания солей в субстрате

более 3 г/л может вызвать уменьшение диаметра цветков, торможение цветения растений, а также значительное снижение количества цветков.

Георгины. При выборе участка под посадку георгин учитываются биологические особенности растения: сравнительно короткий вегетационный период, большая потребность во влаге, усиливающаяся с наступлением жаркого времени, хрупкость стеблей. Так как георгины теплолюбивы и повреждаются первыми же заморозками, их нельзя высаживать на пониженных участках. Участок для георгин должен быть хорошо освещенным и без застоя воды, почва – рыхлой и плодородной, тяжелые и песчаные почвы малопригодны. Нежелательно размещать георгины вблизи крупных деревьев, иссушающих и истощающих почву.

Подготовку участка под георгины начинают с осени. Зяблевую вспашку проводят на глубину 35–37 см, предварительно внося на 1 м² 15–20 кг перепревшего навоза и 20–30 г простого суперфосфата. Весной за две–три недели до высадки георгин участок перепахивают повторно на глубину 20–22 см и вносят калийные удобрения из расчета 20–30 г/м².

Первая подкормка георгин проводится через 10–14 дней после посадки в открытый грунт. Лучшая подкормка для георгин – навозная жижа (1:10), настой птичьего помета (1:20) из расчета 1,5–2 л рабочего раствора под один куст. Готовят это удобрение так: 10 кг коровьего навоза или 5 кг птичьего помета помещают в бочку, заливают 30 л воды. Дают смеси настояться 1–2 недели. Перед внесением настоя размешивают и добавляют 3 л на одну десятилитровую лейку. Этот объем достаточен для подкормки 5–8 кустов. Второй раз подкармливают георгины в начале фазы бутонизации растений минеральными удобрениями: на 1 м² посадочной площади вносят 10–15 г аммонийной селитры, 20–25 – суперфосфата, 15–20 г хлористого калия. Третья подкормка – в начале фазы цветения растений фосфорно–калийными удобрениями: 20–25 г простого суперфосфата и 15–20 – хлористого калия. Азотные удобрения под георгины в этот период не применяют, так как это способствует чрезмерному росту зеленой массы в ущерб цветению. К тому же формирующиеся клубни при этом получают менее лежкими.

Число подкормок и дозы вносимых удобрений зависят от уровня плодородия почвы, погодных условий, фазы развития растений. Можно чередовать подкормки органическими и минеральными удобрениями, но вносить их следует не чаще одного раза в 10–14 дней. Лучшие минеральные удобрения для георгин – комплексные с микроэлементами.

Гербера – многолетнее перекрестноопыляемое, светолюбивое растение; имеет укороченное корневище с длинными шнуровидными малоразветвленными корнями. Лучшей почвой для герберы считается легкий суглинок или супесь с большим содержанием органического вещества. Плотность субстрата должна быть не выше 0,5 г/см³. Оптимальные условия для развития культуры создаются при использовании чистого верхового торфа, а также смесей: торф, дерновая земля (2:1); торф, компостированная сосновая кора (1:1); компостированная кора; дерновая земля, листовая земля, песок в соотношении 1:1:1:1. При выращивании герберы в первую очередь необходимо обеспечить хорошую воздухопроницаемость на глубине почвенного слоя 35–50 см, так как растение образует глубокую корневую систему.

Герберу относят к солевывносливым культурам. Оптимальная реакция на торфе рН 4,5–5,5, а на почве – 5,5–6,2. При возделывании герберы на субстратах с рН выше 6,0 следят за ее обеспечением железом и марганцем, так как из-за плохой доступности этих элементов возможен хлороз листьев.

Герберу высаживают на низкие стеллажи, в контейнеры, в горшки или в грунт теплицы. Эта культура высоко отзывчива на удобрения, которые вносят только в растворенном виде. При посадке весной первую подкормку проводят приблизительно через 3–4 недели, когда начинается активное отрастание листьев. Об обеспеченности герберы элементами питания можно судить по их содержанию в листьях. Оптимальным считается следующее содержание: N – 2,2–3,5 %; P₂O₅ – 0,6–1,0; K₂O – 3,6–5,0; Ca – 15,–2,2; Mg – 0,35–0,70 % сухой массы. Для подкормки молодых растений можно использовать раствор следующего состава (г/м³): калийная селитра – 400–500, аммонийная селитра – 200, сульфат магния – 200–250. На 1 м² посадок при торфяной культуре расходуют от 8 до 20 л питательного раствора в зависимости от возраста растений и слоя субстрата. В период интенсивного роста герберу подкармливают 2–3 раза в месяц, а осенью и весной – раз в 3 недели.

Оптимальным соотношением NPK при возделывании герберы в летний период (с марта по октябрь) считается 3:1:2, а с ноября по февраль – 1:1:2. Недостаток железа вызывает хлороз самых молодых листьев, у которых желтеют жилки. Растения отстают в росте, имеют мелкие цветоносы и блеклые цветы. Недостаток железа может быть результатом избытка кальция в субстрате, а избыток его может вызвать медное голодание. Оптимальная доза железного купороса или карбоната железа для герберы составляет 20–30 г/м³. При развитии железного хлороза герберу поливают 0,2–0,4 % раствором лимоннокислого железа из расчета 3–5 л/м² или опрыскивают 0,2 % раствором хелата железа.

Гиппеаструм – луковичное растение; размножается семенами, детками и делением луковиц. В оранжевое гиппеаструм можно возделывать в горшках, на стеллажах, однако самые благоприятные условия создаются при посадке в приподнятые на 25–30 см грунтовые гряды шириной 1–1,2 м.

Растения лучше развиваются на рыхлой, обогащенной перегноем почве, с плотностью 0,5–0,8 г/см³. Можно использовать смесь, состоящую из дерновой, листовой земли, перегноя и песка в соотношении 1:1:1:0,5. Оптимальная реакция рН_{KCl} 6,0–6,8. Возможно выращивание растений на верховом торфе или смеси торфа и суглинистой почвы (4:1). Оптимальное содержание элементов питания в почве следующее (мг/л): N – 80–150, P₂O₅ – 300–500, K₂O – 350–500. Верхняя граница оптимальна для грунтовых теплиц и на почвах с высоким содержанием органического вещества, нижняя – для горшечной культуры, а также на почвах с низким содержанием органического вещества. Максимальная концентрация солей – 3 г/л.

В зависимости от сорта массовое цветение растений приходится на февраль–март. Когда цветоносы у гиппеаструма достигнут высоты 20 см, растения начинают подкармливать раз в 2 недели полным минеральным удобрением концентрацией 0,2–0,3 %. Подкормку продолжают и после фазы цветения, до середины августа. Удобрение вносят по данным агрохимического анализа, уделяя большое внимание в начальный период роста и развития растений азоту. Хорошие результаты дает подкормка растворами органических удобрений – куриного помета или навоза. С конца июля дозу азотных удобрений снижают, увеличивая долю калия (30 г/м² сульфата калия). В период весеннего и летнего отрастания листьев растения поливают, не допуская переувлажнения субстрата. Оранжевые слегка притеняют, хорошо проветривают. С середины августа – сентября подкормки гиппеаструма прекращают, полив сильно сокращают.

Гладиолус (шпажник) – многолетнее, не зимующее в грунте, клубнелуковичное травянистое растение. Биологической особенностью гладиолуса явля-

ется ежегодное возобновление всех надземных и части подземных органов. Ежегодное отрастание надземного побега происходит из почек, сформировавшихся на клубнелуковице, которая, истратив запасы питательных веществ, отмирает, а на ее месте в течение вегетации растения образуется новая замещающая клубнелуковица. Таким путем поддерживается жизнедеятельность гладиолуса как многолетнего травянистого растения.

Выбор места посадки гладиолуса определяется биологическими особенностями этого растения. Для него нужны защищенные от ветра, хорошо освещенные и дренированные участки. В северных районах даже незначительное применение посадок гладиолуса в любое время дня задерживает рост растений, снижает их декоративные качества и приводит к более позднему цветению по сравнению с участками, освещенными полностью. В южных районах страны более благоприятны для гладиолуса участки с частичным затенением в полуденные часы. В этом случае растения меньше подвергаются воздействию высокой температуры, чем на открытых участках, и цветки дольше сохраняют свои декоративные качества. Место, предназначенное для посадки гладиолуса, должно быть ровным или иметь небольшой наклон (до 5°) в южном направлении, который обеспечивает сток излишней воды, хорошее прогревание почвы и защиту от холодных северных ветров.

В северных районах нижние участки с высоким стоянием грунтовых вод для посадки гладиолуса малопригодны. Почва в таких местах "созревает" позднее, чем на возвышенных участках, посадка гладиолуса и цветение задерживаются, а поздние сорта из-за недостатка тепла вовсе не зацветают. Летом почва слабее прогревается, а осенью на таких участках раньше наступают первые заморозки, которые могут прекратить вегетацию растений до того, как они успеют зацвести, если не принимать меры для защиты посадки от первых заморозков.

Для успешного выращивания гладиолуса имеют значение состав и структура почвы. Тяжелые глинистые, торфяные и чисто песчаные почвы, сильно щелочные и кислые для гладиолуса неблагоприятны. Реакция почвы должна быть нейтральной или слабокислой (рН 5,5–7). Лучшими почвами для гладиолуса являются легкие суглинистые, супесчаные или хорошо оструктуренные черноземы. Необходимая структура почвы создается внесением песка в тяжелые суглинистые, глины – в песчаную почву и достаточного количества хорошо перепревшего компоста и перегноя. Время и норма внесения удобрений как органических, так и минеральных, зависят от характера почвы, содержания в ней тех или иных питательных веществ и от потребности растений в том или другом виде удобрений в разные фазы вегетации.

Органические удобрения обычно вносят осенью под вспашку из расчета 30–50 т/га перегноя, или 20 т/га ТМАУ. Внесение в почву любого свежего или недостаточно перепревшего навоза непосредственно перед посадкой гладиолуса не рекомендуется, так как это может стать причиной поражения грибными заболеваниями. Его следует вносить за 1–2 года до посадки гладиолусов на данном участке. На черноземных и хорошо окультуренных почвах норма внесения органических удобрений снижается примерно на $\frac{1}{3}$.

Гладиолус является культурой, требовательной к азотному питанию, особенно в начальной стадии развития растений. Однако избыток этого элемента приводит к задержке цветения и снижению сопротивляемости растений заболеваниям. Кислые почвы нужно предварительно за 1–2 года осенью известковать. Норма известки определяется кислотностью почвы. В среднем на 1 га вносят 3–4 т известки-пушонки. На индивидуальных участках с плодородной

почвой осенью достаточно внести 7 кг/м² перегноя, 70 г простого суперфосфата и 30 г калийной селитры, а весной в 2 срока – 50 г азотного удобрения. Хорошие результаты в качестве фосфорного удобрения дают костяная мука и роговые стружки, которые вносят осенью или весной из расчета 50–100 г на 1 м². Печную древесную золу дают осенью в количестве до 40 г на 1 м².

Потребность в тех или иных питательных веществах изменяется во время роста и развития гладиолуса. Проведение подкормок приурочивается к определенным фазам развития растения, так как наличие или недостаток питательных веществ в соответствующем периоде оказывает положительное или отрицательное влияние на рост, цветение и образование клубнелуковиц.

Первая подкормка – азотная, вносится в фазе появления 2–3-го настоящего листа. Она способствует усилению роста гладиолуса в начале развития и формированию лучшего соцветия, дифференциация которого приурочено к этому периоду. На 1 га вносят азотные удобрения из расчета 45 кг действующего начала; на 1 м² – 15 г аммонийной селитры, или 25 г сульфата аммония, или 25 г мочевины. На участках, богатых органическими веществами, дозу азотных удобрений в подкормке можно сократить в 2 раза, и вносить ее не позднее конца июня. При неблагоприятных метеорологических условиях в первой половине лета или при поздней посадке гладиолусов подкормку проводят несколько раньше появления 3-го листа. Для первой подкормки можно применять слабый настой коровяка или куриного помета (1 : 10–12) с добавлением 1 г перманганата калия на 10 л раствора. Настой из коровяка готовят следующим образом: в 50 л воды размешивают 4–5 ведер свежего чистого коровяка и выдерживают в закрытом виде 10–12 дней. Для подкормки берут 1 л настоя на 10 л воды. Птичий помет в количестве 2 ведер разводят в указанном количестве воды.

Вторая подкормка – азотно-фосфорно-калийная, проводится в фазе появления у растений 5–6-го настоящего листа из расчета по 45 кг действующего начала на 1 га; на 1 м² – 25 г сульфата аммония, 25 г простого суперфосфата и 9 г сернокислого калия. На почве, богатой органическими веществами, азот следует исключить и ограничиться фосфорно-калийными удобрениями. Можно применить готовые смеси удобрений для овощных, ягодных и других культур, имеющиеся в продаже; доза 30–40 г на 1 м².

Третья подкормка – фосфорно-калийная, проводится в фазе начала бутонизации или несколько раньше. Она обеспечивает хорошее цветение и лучшее образование клубнелуковиц. На 1 га вносят по 45 кг действующего вещества удобрений; на 1 м² – 25 г двойного суперфосфата и 9 г хлористого калия.

На больших площадях подкормки вносят в сухом виде, затем заделывают их культиватором в поверхностный 5–7 см слой почвы. На небольшой площади и на индивидуальных участках подкормки минеральными удобрениями целесообразно вносить в жидком виде, в канавки между рядами гладиолуса. Жидкие подкормки обеспечивают подвод растворимых веществ непосредственно к корням и поэтому действуют более эффективно и быстро, чем сухая подкормка, вносимая на поверхность почвы с последующей заделкой. Повысить действие жидких подкормок можно еще больше, если указанное количество минеральных удобрений разделить на 2 части и внести их в 2 приема с интервалом в 6–7 дней. Во избежание возможных ожогов растения нужно полить водой до и после внесения жидкой подкормки, что одновременно будет способствовать лучшему проникновению минеральных веществ к корневой системе.

Некорневые подкормки гладиолусов 0,05–0,1 % водными растворами микроэлементов проводятся с появления у растений 3–4-х настоящих листьев с интер-

валом 7–10 дней. Этот агроприем способствует ускорению цветения гладиолуса на 6–7 дней и является хорошим средством профилактики заболеваний растений.

Глоксиния – многолетнее травянистое клубневое растение; в производстве размножают семенами. Сеют глоксинию с ноября по январь в ящики, наполненные рыхлой и легкой почвенной смесью: листовая земля и торф (3:4); листовая, перегнойная, дерновая земля, торф (1:1:1:2); дерновая земля, торф, песок (1:3:1); плотность субстрата 0,1–0,7 г/см³. Он должен быть свежим (ранее не использовавшимся), водо- и воздухопроницаемым, с pH 5,5–6,0. Такой субстрат применяют на всех этапах выращивания этой культуры.

Первую пикировку проводят при появлении первой пары настоящих листьев, т. е. через 4–6 недель после посева, вторую – через месяц, по 50–100 растений в ящик. Перед вторичной пикировкой на 1 м³ субстрата добавляют 0,5–1,0 кг полного минерального удобрения. Когда растения сомкнутся и листья поднимутся косо вверх, их пересаживают в специальные горшки с субстратом, на 1 м³ которого добавляют 1,5 кг аммофоски или 0,4 – аммонийной селитры, 0,68 – простого суперфосфата, 0,42 – калийной селитры, 0,3 кг сульфата магния и микроэлементы. Глоксинию сажают неглубоко, слегка прикрывая клубень субстратом, в который добавляют 2–2,5 кг полного удобрения с микроэлементами. Оптимальное содержание питательных элементов в субстрате: N – 100–250 мг/л; P₂O₅ – 150–200; K₂O – 300–400 мг/л. Для роста и развития растениям глоксинии необходимы еженедельные подкормки питательным раствором невысокой концентрации (10–15 г полного удобрения на 10 л воды).

Гортензия – декоративный кустарник, ценится из-за красивых цветков и продолжительного периода цветения. Особенно ценны садовые формы с бесплодными цветками. Гортензия хорошо растет на легких, богатых гумусом, рыхлых и умеренно влажных почвах; известковых почв не выдерживает, но на буроземах с необходимым содержанием извести растет сравнительно хорошо. На Черноморском побережье Кавказа лучше всего развивается на красноземных и аллювиальных почвах в районах с осадками более 1500 мм в год. В местностях с засушливыми летними периодами, особенно на глинистых оподзоленных и песчаных почвах, растет плохо и хуже переносит зиму.

Размножают гортензию семенами, которые высевают осенью в ящики и слегка прикрывают землей, но главным образом вегетативно, путем укоренения зеленых и одревесневших черенков под стеклом, отводками, отпрысками и делением куста. Посадка производится 2–3-летними саженцами. Размер посадочной ямы зависит от почвы: на легких окультуренных почвах – 40 х 40 х 50 см, суглинистых окультуренных почвах – 50 х 50 х 60 см, тяжелых глинистых почвах – 60 х 60 х 70 см. Для посадки используют различные субстраты: слаборазложившийся верховой торф в смеси с песком в соотношении 2–3:1, торф предварительно нейтрализуют мелом из расчета 2–3 г CaCO₃ на 1 л торфа; вермикулит с песком (2–1:1); торф – нижний слой (3–4 см), песок – верхний (2–3 см); торф низинный с песком (1:1–2); перлит. Перед посадкой растений в подготовленный субстрат вносят удобрения из расчета (мг/л): N – 50–150; P₂O₅ – 300–450; K₂O – 200–350; Ca – 200–350; Mg – 40–80. После укоренения начинают подкормку. При посадке гортензии в марте до перевалки (начало июня) проводят обычно 2–3 подкормки, чередуя полное удобрение (0,2 %) с внесением азота (аммонийной селитры – 0,2 %). Подкормки гортензии начинают после того, как корни хорошо оплетут земляной ком. Подкармливают растения через 7–10 дней, если они находятся в теплице, и через две недели, если горшки прикопаны в парники или на поле.

Обеспеченность отдельными элементами питания в первый год культуры может быть следующей (мг/л): N – 200; P₂O₅ – 500; K₂O – 600. При таком уровне их содержания нельзя допускать пересыхания почвы. Полив должен быть регулярным и обильным, так как при избытке удобрений листья в солнечную погоду начинают терять тургор и по краям их появляется некроз.

Во второй год вегетации растения начинают подкармливать, когда на побегах появляются бутоны, используя данные агрохимического анализа. Концентрация питательного раствора при подкормках в зависимости от физико-химических свойств земельной смеси колеблется от 0,15 до 0,3 %. Лучше чередовать подкормки минеральные с органическими удобрениями. При низкой обеспеченности почвы элементами питания подкормки проводят с интервалом 7–12 дней 2–3 раза, если обеспеченность средняя – 2 раза через 14–20 дней, а затем снова анализируют почву. Если фосфорные удобрения внесены перед посадкой растений, подкормки проводят по следующей схеме: азотно-калийные, азотные, полное удобрение. При невысоком содержании фосфора в почве полное удобрение чередуют с азотным. Подкармливают растения в 2–3 приема; общий объем раствора – 300–500 см³, в зависимости от диаметра горшка.

Жимолость представлена листопадными и вечнозелеными лианами, прямостоячими и стелющимися кустарниками. Жимолости могут произрастать в различных почвенно-климатических условиях, так как имеют широкую экологическую амплитуду. Они растут на разных типах почв – от торфяников в районе болот, до известняков в горах при условии достаточного увлажнения почвы. Эти лианы хорошо развиваются на слабокислых и нейтральных почвах (рН 6–7), но могут расти и на более кислых (рН 4,5–5,5). В культуре жимолости предпочитают почвы средние по гранулометрическому составу, слабнокислые, супесчаные и суглинистые, богатые органическим веществом, с содержанием гумуса около 3,5 %. Размножается семенами и вегетативным способом. При вегетативном способе вьющиеся жимолости размножают черенками, отводками и делением куста.

Размеры посадочных ям для жимолости 60 x 60 x 50 см. Норма внесения удобрений на одну яму: торфонавозного компоста или перепревшего навоза 10–12 кг, простого суперфосфата 50–80 г, калийной соли 40–50 г. После внесения удобрения его перемешивают в посадочной яме с почвой. Для более активного корнеобразования в период приживаемости полив проводят 0,001 % раствором гетероауксина. Такой полив лучше проводить весной, в начале регенерации корневой системы. Раствор стимулятора вносят в лунки саженцев, непосредственно после полива равномерно по всей площади приствольного круга с расчетом промачивания всей корнеобитаемой зоны.

В период первой вегетации жимолости большую роль играет систематический полив посаженных растений: за сезон их необходимо полить не менее 7–10 раз из расчета 10–20 л каждого полива на одно растение. На второй год после посадки дождевание полезно совмещать с некорневыми подкормками в виде растворов минеральных удобрений. Используют следующие растворы: 0,1 % мочевины (1 г соли на 1 л воды); 0,2 % аммонийной селитры; 0,5–1 % простого суперфосфата; 0,5 % хлористого калия.

Ирис. В культуре ирисы неприхотливы, однако следует учитывать их экологию. В основном это светолюбивые и засухоустойчивые растения. Даже в условиях засушливого юга многие виды могут расти без полива, и при этом усыхает лишь незначительная часть листьев. Закладка цветочных почек у ириса приходится на лето. Участок под ирисы должен быть открытым, сол-

нечным с плодородной почвой и низким стоянием грунтовых вод, так как застой воды ведет к загниванию корневищ растений. В затененных местах ирисы плохо цветут и чаще поражаются бактериальными гнилями. Участок готовят за год до посадки. Осенью под глубокую зяблевую вспашку вносят 80–100 т/га навоза, 2–3 ц/га простого суперфосфата, по 2 ц/га сернокислого калия и аммонийной селитры. В зависимости от pH почвы вносят известь, на кислых почвах до 6 т/га, на слабокислых – до 2 т/га.

Посаженные и вегетирующие в течение 1–2 лет ирисы ранней весной подкармливают полным минеральным удобрением из расчета: 12 г/м² аммонийной селитры, 8 – простого суперфосфата и 10 г/м² хлористого калия. Вторую подкормку проводят в фазе бутонизации растений – соответственно 4, 12 и 12 г/м². Третью подкормку ирисов проводят сразу после завершения фазы цветения фосфорно–калийными удобрениями в дозе: 12 г/м² суперфосфата и 12 г/м² хлористого калия.

Калла (цантедешия) – многолетнее корневищное растение. Для ее роста и развития благоприятны рыхлые, хорошо дренированные, слабокислые почвы с большим содержанием органического вещества, имеющим pH 5,5–6,2. Каллы относятся к солевывосливым растениям, поэтому могут без видимого угнетения переносить высокую концентрацию водорастворимых солей в почве – до 3,5 г/л.

Растения потребляют калия в два раза больше азота и в шесть раз больше фосфора. Оптимальное содержание этого элемента в черешках листьев составляет 8 %. Из микроэлементов для каллы очень важен цинк, который необходим для биосинтеза некоторых ферментов и ауксинов.

Оптимальное содержание питательных элементов в субстрате для калл следующее (мг/л): N (сумма нитратной и аммонийной форм) – 80–120; P₂O₅ (по Кирсанову) – 600–800; K₂O (по Кирсанову) – 500–700; Ca – 200–300; Mg – 80–120.

Подкармливать каллы начинают с конца августа – начала сентября. На 1 м² обычно вносят по 20–30 г простого суперфосфата, аммонийной селитры и сульфата калия, 1–2 г сульфата цинка, а если растения культивируют на торфе, то еще 20–30 г сульфата магния. Удобрения лучше применять в два приема с интервалом в 7–10 дней. При второй подкормке растений в рабочий раствор добавляют полный набор микроэлементов. В дальнейшем проводят подкормки калл азотно–калийными удобрениями. С середины ноября до конца января применяют только фосфорные и калийные удобрения при несбалансированном содержании этих элементов в почве. С увеличением длины дня проводят подкормки калл азотными удобрениями концентрацией раствора 0,2–0,3 % до наступления покоя. О необходимости подкормок можно судить по внешнему виду растений: если края листьев свисают и поверхность их матовая, то они нуждаются в азоте; если листья темно–зеленые и острые концы пластинок их направлены вверх, то они нуждаются в калии. Об обеспеченности растений элементами питания можно судить по их содержанию в листьях. Для анализа отбирают листовые пластинки без черешков, так как состав их неодинаков. Оптимальное содержание элементов в них следующее: N 3,5–4,5 %; P₂O₅ – 0,8–1,2; K₂O – 4,5–6,0; Ca – 1,3–1,5; Mg – 0,–1,2 %. Следует отметить, что генеративные листья, в пазухах которых расположены цветения, более богаты всеми элементами питания, чем вегетативные.

Весной каллы интенсивно растут и цветут, одновременно закладываются новые соцветия. В этот период проводят подкормки (на 1 м² вносят 20 г калийных солей, 10 г азотных, 5 г фосфорных, 5 г микроудобрений с преобладанием цинка, меди, бора и 10 л навозной жижи).

Кальцеолярия. В производстве чаще используют кальцеолярию гибридную – двулетнее растение, культивируемое как однолетник; размножается в основном семенами, хотя кустарниковая форма может размножаться и черенками. Для посева и пикировок используют субстраты с плотностью около $0,8 \text{ г/см}^3$ следующего состава: листовая земля, перегной (2:1); листовая земля, торф низинный (2:1); дерновая земля, песок, торф низинный (1:0,5:1); дерновая земля опилки (2:1); дерновая земля, торф верховой (1:3); торф низинный, дерновая земля, древесные опилки, песок (1:0,5:0,5:1); торф верховой, древесные опилки (1:0,5); произвесткованный верховой торф с pH_{KCl} 5,6–6,2.

При выращивании кальцеолярии на различных почвенных смесях дозы удобрений устанавливают в зависимости от исходного плодородия субстрата, используя данные агрохимического анализа (примерная доза – $1,5 \text{ кг/м}^3$ полного удобрения). Оптимальное содержание питательных элементов в субстрате, мг/л: N – 100–200, P_2O_5 – 200–350, K_2O – 200–300, Ca – 250–400, Mg – 30–50. Нижний уровень содержания питательных элементов поддерживают после укоренения распикированных растений и посадки в горшки, верхний – после хорошего укоренения растений в оптимальных условиях. Кальцеолярия хорошо реагирует на повышенное содержание азота, однако в случае его избытка между цветками образуются феллодии – листья внутри соцветия, которые, разрастаясь, снижают декоративность растения.

Допустимая концентрация раствора удобрений для подкормок на легких гумусированных субстратах (плотность до $0,5 \text{ г/см}^3$) при низкой и умеренной обеспеченности их питательными элементами равна 0,3 %, а на более тяжелых минерализованных – 0,2 %. К позднеосеннему периоду субстрат должен содержать все необходимые питательные элементы. В условиях низкой температуры воздуха кальцеолярия медленно наращивает вегетативную массу, поэтому растения со второй половины ноября до середины января практически не подкармливают. Если соотношение питательных элементов нарушено, необходимую подкормку проводят даже зимой, используя растворы невысокой концентрации.

По окончании периода охлаждения с увеличением длины дня и интенсивности освещения начинают регулярные подкормки, а при электроосвещении растений заканчивают за две недели до реализации.

При отсутствии агрохимических исследований рекомендуются следующие ориентировочные сроки и дозы внесения удобрений: растения в горшках диаметром 11 см подкармливают полным удобрением, чередуя его с азотным через каждые 12–15 дней, диаметром 9 см – полным удобрением через 10–15 дней. Состав раствора: N – 200–300 мг/л; P_2O_5 – 120–200; K_2O – 300–400; Mg – 20–30 мг/л (магниевые удобрения вносят на торфяных и опилочных субстратах). Раствор по нижнему уровню содержания питательных элементов составляют для распикированных растений и растений в горшках диаметром 7–9 см до периода охлаждения, по верхнему уровню – при выращивании кальцеолярии в горшках диаметром 11 см после охлаждения. Весной концентрацию удобрений в растворе увеличивают в полтора раза.

В зимнее время при пониженной температуре на листьях кальцеолярии может появиться хлороз, вызванный нарушением поступления железа или меди в растения. Поэтому в субстраты, содержащие большое количество торфа, добавляют 10–15 г сульфата меди и 20–30 г сульфата железа на 1 м^3 . Хорошие результаты дают некорневые подкормки 0,1–0,15 % раствором хелата или сульфата железа. Их проводят в пасмурную погоду, чтобы избежать ожога листьев. Для более быстрого проникновения раствора в листья временно повы-

шают температуру воздуха до 10–12 °С. Причиной дефицита железа часто служит не его недостаток в субстрате, а слабое поступление вследствие избыточной влажности (особенно на холодном субстрате) или чрезмерно высокого содержания нитратного азота и фосфора. В этом случае с наступлением теплой погоды в светлое время года нормальная окраска листьев восстанавливается.

Клематис имеет две биологические особенности: обильное долгоцветение и ежегодное возобновление почти всей наземной массы вегетативных органов. В связи с этим растение расходует большое количество питательных веществ. Поэтому необходимо, чтобы в почве они находились в достаточном количестве и в оптимальных соотношениях. Это достигается внесением основного удобрения, а также с помощью подкормок в период вегетации растений.

По отношению к почве клематисы невзыскательны, но предпочитают богатую перегноем, рыхлую, плодородную, супесчаную или суглинистую почву с уровнем залегания грунтовых вод ниже 1,2 м. На участках с близким залеганием подпочвенных вод клематисы вымокают. Перед посадкой клематиса почву хорошо обрабатывают. Под весеннюю посадку ее готовят с осени, а под осеннюю – примерно за месяц. Основное удобрение: 100 т/га перегноя и $N_{90}P_{120}K_{60}$ вносят под вспашку. Нередко цветоводы рекомендуют посадку клематисов производить в специально приготовленные ямы. Это оправдано при посадке в невыработанные, тяжелые глинистые почвы или при наличии ортштейнового горизонта. В этих случаях ширина и глубина посадочной ямы должна быть 70 см. К почве, вынутой из ямы, добавляют 20–25 кг перегноя и 200 г простого суперфосфата и 200 г комплексного удобрения (нитроаммофоски) на 50 кг почвы. Примерно такой же состав можно использовать для посадки в горшках или контейнерах. В горшках можно использовать также удобренный торф. На 1 м³ торфа добавляют 6–8 кг мела, 0,7–0,8 кг нитрата калия, 1,2–1,5 кг простого суперфосфата, 150–200 г сульфата аммония, 60–80 г сульфата железа, 4–6 г сульфата магния, 15–20 г сульфата меди, 4–5 г сульфата цинка, 4–5 г борной кислоты, 0,8–1,2 г молибдата аммония или молибдата натрия.

За период вегетации растений подкормки проводят 3–5 раз. Первую подкормку в фазу бутонизации клематиса, вторую – после массового цветения и летней обрезки, третью и последующие – после очередного цветения и обрезки. В качестве подкормок используют полное минеральное удобрение (20–40 г/10 л воды), жидкий коровяк (1:10) или куриный помет (1:15). 1 кг полного удобрения содержит 500 г калиймагнезии, 370 г нитрата аммония, 120 г сульфата калия, 10 г сульфата железа, 4 г сульфата меди, 2,5 г сульфата цинка, 1 г сульфата магния, 1,5 г борной кислоты, 0,5 г молибдата аммония, 0,5 г нитрата кобальта. Следует помнить, что высокие нормы удобрений могут вызвать ожоги и привести к гибели растений. Положительный результат дает весенний полив известковым молоком из расчета 100–150 г гашеной извести или мела на 10 л воды.

Лилия. Для лилии необходима рыхлая питательная водопроницаемая почва с нейтральной реакцией. Почвы с повышенной кислотностью и избыточным увлажнением для нее непригодны. На тяжелых глинистых водонепроницаемых почвах перед посадкой луковиц создают искусственный дренаж. Для этого в месте посадки выкапывают траншею глубиной 60 см с наклоном дна в одну сторону. Дно засыпают битым кирпичом, галькой или крупнозернистым песком слоем 15–20 см, а затем добавляют глинистую или дерновую почву, смешанную с листовым перегноем и крупнозернистым песком или гравием, что делает почву более рыхлой. В открытом грунте лилии выращивают на одном месте в течение нескольких лет. Для посадки лилий почву перекапы-

вают на глубину 40–50 см и вносят листовой перегной или хорошо проветренный торф (10 кг/м^2) с добавлением извести ($200 - 500 \text{ г/м}^2$) и азотно-фосфорно-калийные минеральные удобрения (100 г/м^2). Луковичные корни лилий проникают в почву до 60 см и функционируют в течение нескольких лет, поэтому глубокая обработка почвы и внесение удобрений благоприятно сказываются на развитии растений.

Подкормки лилии должны проводиться дифференцированно в зависимости от фазы развития растений. В начале вегетации, когда идет активный рост цветоносного побега и корней, лилии особенно нуждаются в азоте; в фазу дифференциации цветков растению необходимы азот и калий, а в период бутонизации и цветения – калий и фосфор.

В начале вегетации растений проводят первую подкормку органическими и минеральными удобрениями (раствор коровяка 1:10, раствор нитроаммофоса, диаммофоса, аммонийной селитры – $40-50 \text{ г}$ на 10 л воды). При внесении удобрений в сухом виде их заделывают в почву на глубину $5-7 \text{ см}$ с последующим поливом ($40-50 \text{ г/м}^2$). Хорошие результаты дает внесение древесной золы (100 г/м^2) несколько раз в течение сезона. Это способствует увеличению размера цветков, усиливает интенсивность их окраски, увеличивает сопротивляемость грибным болезням.

Последующие подкормки проводят в разные фенологические фазы: появление бутонов, окрашивание бутонов перед цветением и после окончания цветения (через 1–2 недели, но не позже 15 августа). У разных видов и сортов лилий эти фенофазы наступают в разные сроки, поэтому подкормки следует проводить с учетом этих сроков.

Нарцисс – многолетнее луковичное растение; размножается семенами и вегетативно. Посев семян проводят в открытый грунт сразу же после их созревания. Цветение наступает на 4–5 год после посева. Вегетативное размножение проводится путем отделения дочерних луковиц от материнского растения.

Выращивание нарциссов не представляет сложности. Они прекрасно растут на самых разнообразных почвах, но не терпят переувлажненных, сырых почв и тенистых мест. Подготовку почвы под посадку нарциссов начинают заранее. Летом перекапывают или перепахивают отведенный под посадку участок с одновременным внесением перегноя и минеральных удобрений из расчета $8-10 \text{ кг/м}^2$ перегноя, 30 г/м^2 простого суперфосфата, 30 – аммонийной селитры и 30 г/м^2 калийной соли.

Нарциссы подкармливают за вегетационный период трижды: по всходам, во время бутонизации и в фазу массового цветения растений. При ранневесенней подкормке нарцисса вносят 30 г/м^2 аммонийной селитры, 15 – простого суперфосфата и 15 г/м^2 калийной соли. Во время бутонизации – 20 г/м^2 аммонийной селитры, 40 – простого суперфосфата и 20 г/м^2 калийной соли. При третьей подкормке растений вносят 10 г/м^2 аммонийной селитры, 15 – простого суперфосфата и 15 г/м^2 калийной соли.

Нерина – многолетнее травянистое луковичное растение высотой $15-100 \text{ см}$, образующее соцветия на безлистных цветоносах. Ее можно выращивать в горшках, ящиках, контейнерах, грунте как для выгонки, так и для получения посадочного материала. Субстраты для нерины должны быть плодородными и дренированными. Основу их составляют суглинистые почвы, среднезернистый песок и компостированная древесная кора в равных соотношениях по объему. Перед перекопкой вносят компост или перегной ($15-20 \text{ кг/м}^2$). При посадке луковиц на дно борозды кладут также среднезернистый песок; реакция среды нейтральная –

pH 6,7–7,0. Оптимальное содержание питательных элементов в субстрате, мг/л: N, P₂O₅ – по 120, K₂O – 300, Ca – 1500, Mg – 60.

В период вегетации растений по результатам агрохимического анализа субстрата проводят подкормки с внесением недостающих питательных элементов. При отсутствии агрохимического контроля целесообразно еженедельное внесение нитрофоски либо полного минерального удобрения из расчета 20 г/м² или 0,1–0,15 % водного раствора удобрений; норма расхода рабочего раствора – 7–10 л/м².

Пеларгония – растение высотой 40–60 см, с полуодревесневшими стеблями; размножается семенами и вегетативно. Вегетативное размножение проводят в марте-апреле. Маточники содержат зимой в светлых сухих оранжереях при температуре 4–7 °С и умеренном поливе.

Черенки перед посадкой подвяливают, подсушивая место нижнего среза, и укореняют в песке при температуре 17–19 °С в течение 20–25 дней. Укоренившиеся черенки пересаживают в горшки, наполненные смесью листовой, дерновой земли и песка в соотношении 2:2:1. Растения в горшках подкармливают минеральными удобрениями через каждые 15–20 дней в соотношении NPK, равном 2:1:1,5.

При размножении семенами посев проводят с декабря по февраль. Для повышения всхожести семян используют субстрат с pH 5,6–6,5 и NPK в соотношении 1:1:1,5. По гранулометрическому составу субстраты могут быть различными: чистый торф, смесь торфа с песком, смесь почвы с торфом или с компостом из свежей сосновой коры.

Пион исключительно требователен к условиям минерального питания и очень отзывчив на удобрения. Это обусловлено интенсивным ростом наземной массы и корневой системы растений. Ежегодно у пиона отрастают мощные высокие стебли, значительное количество крупных листьев и цветков. Для развития такой вегетативной массы требуется много питательных веществ: не меньше их расходуется и на формирование мощной корневой системы. Потребность в питательных веществах у пиона начинает проявляться с момента отрастания молодых побегов и достигает максимума в фазе бутонизации. Наивысшей декоративности и продуктивности пионы достигают при 3-кратной дифференцированной подкормке: азотом – в начальной стадии роста; полным комплексом минеральных удобрений – в фазу бутонизации и в начале цветения. Такой порядок внесения удобрений способствует образованию наибольшего количества цветков, максимальной продолжительности цветения и увеличению размера цветков. Количество вносимых под пионы удобрений зависит от сортовых особенностей, возраста и плодородия почвы. Пионы высаживают в специально подготовленные ямки с размерами 70 x 70 x 70 см, заложенные земляной смесью из верхнего слоя снятой земли, перепревшего навоза и простого суперфосфата из расчета 200 г на ямку. Подкормки в период вегетации растений дают в сухом или жидком виде. Под одно растение вносят минеральные удобрения в дозе N₃₋₅P₄₋₅K₆₋₉(г/м²) и заделывают на глубину 5–6 см. При жидкой подкормке 1/2 дозы минеральных удобрений разводят в настое из навозной жижи или коровяка.

Примула – корневищный многолетник с розеткой прикорневых листьев и безлиственными невысокими цветоносами. Все виды примул следует высаживать на рыхлых, нетяжелых, хорошо дренированных почвах. При небольшом затенении они цветут дольше и не выгорают, легко переносят пересадку в цветущем виде.

Почву в цветнике под примулы обрабатывают глубоко – 28–30 см. Органические удобрения вносят из расчета 20–25 кг/м², минеральные: N₁₅P₂₀K₁₅ г/м². В

течение лета дают три подкормки: первую – ранней весной, вторую – через 2–3 недели ($N_{15}P_{15}K_{15}$ г/м²), третью – в июле – августе ($P_{15}K_{15}$ г/м²). Очень важно сохранить листья до глубокой осени. У многих видов хорошо развита листовая розетка служит естественным укрытием растений на зиму, так под снегом листья сохраняются зелеными почти до весны.

Пуансеттия. Наиболее подходящим субстратом для пуансеттии являются торфосмеси (торф с компостами, листовой, дерновой землей, сосновой корой, песком), верховой торф, дерновая земля с перегноем и песком в соотношении 1:1:1:1; рН субстрата – 6,0–6,5.

Перед посадкой пуансеттии вносят полное удобрение из расчета 2–4 кг/м³ субстрата. При посадке укорененные черенки не заглубляют, поливают и представляют на стеллаже по 16–25 шт./м².

О необходимости применения подкормок можно судить по содержанию элементов питания в листьях. Недостаток питательных элементов у растений особенно отрицательно влияет на образование качественных соцветий. Поэтому удобрения под пуансеттию рекомендуется применять через каждые 10–14 дней до полного окрашивания прицветников. Недостаток азота вызывает пожелтение листьев, замедляет развитие прицветников, дефицит фосфора – пожелтение и опадение листьев, калия – хлороз и некроз. При первых признаках появления симптомов недостатка питательных веществ в почве проводят некорневую подкормку растений. Растения подкармливают 0,15–0,20 % водными растворами минеральных удобрений. Для приготовления питательного раствора используют 200–500 мг/л азота, 30–80 – фосфора и 90–260 мг/л калия. На ранних стадиях роста пуансеттия потребляет большое количество азота, к началу развития генеративных органов усиливают питание фосфором, а позднее – калием. Пуансеттия хорошо отзывается на некорневые подкормки 0,005 % растворами магния, марганца и молибдена.

Роза – красивоцветущий листопадный, нередко вечнозеленый кустарник, иногда лиана высотой от 0,2 до 3,5 м. Розы – растения солнцелюбивые, и поэтому при посадке для них выбирают хорошо освещенные открытые места, защищенные от сильных ветров. Размножаются они семенами и вегетативно – окулировкой, прививкой, черенкованием, делением кустов и отводками. Розы, растущие на солнце, быстрее формируются, дают больше цветов. В тени они растут медленно, образуя длинные и тонкие побеги, слабо цветут, поражаются болезнями и вредителями. Для роз лучше подходят участки с небольшим уклоном (8–10°) к югу, юго-востоку или юго-западу. Розы успешно растут на черноземах, легких суглинках и супесях с хорошей структурой и высоким содержанием органического вещества. Уровень грунтовых вод не должен быть выше 80–120 см, так как корневая система привитых роз иногда проникает на глубину более 1 м. Большое значение для роз имеет кислотность почвы. Почва для них предпочтительна слабокислая, хотя они могут расти и на почвах, имеющих слабощелочную реакцию. Для повышения кислотности в почву добавляют торф и навоз, а для подщелачивания вносят золу, известь или доломитовую муку. Следует избегать болотистых, засоленных и каменистых почв.

Участок, предназначенный для посадки роз, готовят с осени. Проводят глубокую обработку почвы. В зависимости от ее структуры, кислотности и плодородия на суглинистых и супесчаных почвах вносят 100–120 т/га навоза, 4–6 – извести, 0,6–1,0 – фосфоритной муки и 0,5–0,6 т/га калийной соли. При посадке роз на больших площадях удобрения вносят по всему участку, при небольших посадках копают ямы размером 60 x 70 x 70 см, в которые закла-

дывают удобрения из расчета 4–5 кг перегноя, с добавлением 15–20 г аммонийной селитры, 60–80 – простого суперфосфата и 8–10 г хлористого калия. При хорошей заправке почвы удобрениями в первый год после посадки молодые растения не нуждаются в подкормке. После прищипки бутонов их желательно только подкормить органическими удобрениями, которые лучше всего применять в жидком виде: настоем коровяка 1:10, куриного помета 1:20. В последующие годы розы нуждаются в регулярных подкормках. Розы имеют некоторые особенности роста: у сортов садовых групп с ремонтантным цветением – чайно-гибридных, флорибунда, грандифлора, миниатюрных и полиантовых – побеги за вегетационный период отрастают 3–4 раза, а следовательно, нуждаются в различных питательных веществах. За сезон необходимо провести не менее 4-х подкормок органическими и минеральными удобрениями, которые дополняют друг друга. Подкормки приурочивают к фазам вегетации роз – началу цветения и новому росту растений. Первую подкормку проводят в фазу бутонизации, вторую – после спада первого массового цветения, третью – после второго цветения и четвертую – в конце летнего сезона. Хорошие результаты дает поливка коровяком: на ведро (10 л) воды – 1 кг коровяка, смесь настаивают 4–7 дней при регулярном перемешивании. После прекращения появления пузырьков настоев в 2 раза разбавляют водой. На ведро настоя добавляют: при первой подкормке – 15–20 г аммонийной селитры, 30–35 – простого суперфосфата, 8–10 г хлористого калия; при второй подкормке – 20–30 г аммонийной селитры, 60–80 – простого суперфосфата, 10–15 г хлористого калия; при третьей подкормке – 60–70 г простого суперфосфата, 15–20 г хлористого калия; четвертую подкормку производят раствором солей в чистом виде (10 л) по норме третьей подкормки.

При хорошем обеспечении растений питательными элементами листья из середины побега, закончившие свой рост, содержат 2,8–3,6 % азота, 0,65–0,80 – фосфора и 2,5–3,0 % калия.

От несбалансированного питания розы заболевают хлорозом: в первой стадии отмечается пожелтение пластинки листа между жилками, которые остаются зелеными, затем он полностью желтеет, и по краям его появляются некрозы коричневого цвета. Хлороз чаще всего возникает из-за нарушения поглощения растениями железа и реже марганца. Проявляется он как при прямом недостатке в почве этих элементов (например, на карбонатных, нейтральных и щелочных почвах, на которых железо и марганец малодоступны для растений), так и при достаточном их количестве, но несбалансированном содержании других питательных веществ. Железо не может участвовать в нормальном образовании хлорофилла ввиду избыточного содержания в почве и поступления в растения фосфора и нитратного азота, а также на холодных почвах при недостатке в них кислорода и избыточном увлажнении. Именно поэтому хлороз часто наблюдается в начале выгонки роз, в первое цветение, затем он проходит. При нарушении режима питания железом хлороз появляется на верхних, растущих листьях, а при недостатке марганца – и на нижних, уже сформированных. Для борьбы с этим заболеванием роз при массовом его проявлении, в почву вносят соли железа или марганца из расчета 1–2 кг/га д. в.; проводят некорневые подкормки растений 0,01 % водными растворами этих элементов.

Сирень – одно из самых любимых и распространенных декоративных растений. Она зацветает весной довольно рано и цветет обильно, долго и празднично. Участок для посадки сирени должен быть освещенным; закрытым от ветра. Эта культура хорошо растет как на равнинных местах, так и на небольших склонах,

особенно юго-западного направления. Мощная корневая система позволяет использовать сирень для закрепления почвы в эрозионно-опасных местностях. Для сирени непригодны низкие, заболоченные и затопляемые участки.

Почва должна быть умеренно влажная, плодородная, структурная, с высоким содержанием гумуса и водопроницаемым подпочвенным горизонтом. Сирень хорошо растет на суглинистых почвах, заправленных органическими и минеральными удобрениями, на черноземах, тепловой режим которых способствует развитию более декоративных кустов и усиливает их цветение. Реакция почвы должна быть от слабокислой до нейтральной (рН 6–7). Глубина залегания грунтовых вод 1,5–2 м от уровня почвы.

При посадке растений группами или куртинами почву лучше вспахать или перекопать, предварительно внося в нее минеральные и органические удобрения из расчета на 1 м²: навоза или компоста – 10–15 кг, фосфорных 60–80 г, калийных 20–25 г. Почву с повышенной кислотностью известкуют (табл. 217; Шеуджен А.Х., Котляров Н.С., Куркаев В.Т. и др., 2004).

Таблица 217 – Дозы извести в зависимости от кислотности почвы, кг/м²

Почва	рН солевой вытяжки					
	4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4–5,5
Супесчаная, легкосуглинистая	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
Среднесуглинистая	0,6	0,55	0,55	0,45	0,4	0,35
Тяжелосуглинистая	0,8	0,75	0,65	0,55	0,5	0,45

Кислотность почвы можно нейтрализовать, внося в приствольные круги золу, которая обладает щелочными свойствами, а, кроме того, способствует минерализации азота.

Посадочные ямы копают с отвесными стенками. Размер их зависит от плодородия почвы: на средне плодородных – достаточно 50 х 50 х 50 или 60 х 60 х 60 см; на бедных, песчаных, засоренных строительными и другими отходами, на неудобных участках размер ям увеличивают до 100 х 100 х 100 см и полностью заполняют их привозным грунтом. В состав почвы для одной посадочной ямы входят органические удобрения (перегной, перепревший навоз или компост) – 15–20 кг, костная мука – до 2 кг, древесная зола – 200–300 г. Если вместо костной муки приходится вносить суперфосфат, который подкисляет почву, для его нейтрализации дозу золы увеличивают вдвое. При хорошей подготовке посадочных ям в первые два–три года после посадки удобрения в почву приствольных кругов можно не вносить. Чрезмерные дозы подкормок в это время приводят к повышению концентрации почвенного раствора и ослаблению укоренения и роста. Азотные же удобрения начинают вносить со второго года после посадки в виде двух – трехкратных подкормок мочевиной из расчета 50–60 г на одно растение за сезон или аммонийной селитрой – 65–80 г соответственно. Первую подкормку азотом дают ранней весной в начале вегетации, когда оттает почва, две последующие – с перерывом в 20–25 дней. Эффективна также подкормка органическими удобрениями. Для этого раствор коровяка разводят водой в 4–5 раз, навозной жижи – в 6–8, птичьего помета в 10–12 раз. На куст расходуют 1–3 ведра в зависимости от его возраста и состояния.

Сирень хорошо растет, обильно и ежегодно цветет, если почва в зоне приствольного круга достаточно плодородна. С четвертого года после посадки

подкормки лучше приурочивать к определенным фазам вегетации растений. Сирень пробуждается ранней весной, когда многие растения еще пребывают в покое. В этот период вносят 40 % годовой нормы азотных удобрений, а остальное их количество лучше давать дробно, так как азотсодержащие соединения быстро вымываются из почвы.

Последующие три подкормки азотом (по 20 %) осуществляют с интервалом 20–25 дней, в зависимости от наступления фенофаз: начало бутонизации, массовое цветение, конец цветения и прироста побегов в длину. Если есть возможность заменить минеральные удобрения органическими, хорошо использовать растворы коровяка, навозной жижи или птичьего помета. Концентрация та же, что и в первые годы после посадки, расход – 15–20 л на 1 м² приствольного круга, в зависимости от состояния и возраста куста.

Органические удобрения можно давать неразведенными в виде перепревшего навоза, перегноя или компоста, перед осенней обработкой почвы. Ориентировочные средние годовые нормы на приствольный круг взрослого куста от 10 до 30 кг.

Фосфорные и калийные удобрения вносят осенью один раз в два–три года, заделывают при рыхлении на глубину 6–8 см. Средние годовые нормы минеральных удобрений на 1 м² приствольного круга куста приведены в таблице 218 (Лунева З.С., Михайлов Н.Л., Судакова Е.А., 1989).

Таблица 218 – Нормы минеральных удобрений на 1 м² прикустовой зоны в год

Вид удобрений	Норма, г	Вид удобрений	Норма, г
Азотные*		Калийные*	
Мочевина	30**–20***	Хлористый калий	25–12
Аммонийная селитра	40–30	Калийная соль	35–20
Сульфат аммония	50–35	Сульфат калия	40–25
Цианамид кальция	50–35		
Натриевая селитра	65–40		
Кальциевая селитра	80–55		
Фосфорные*		Сложные*	
Суперфосфат двойной	30–20	Нитрофос	85–50
Суперфосфат простой	70–40	Нитроаммофоска	90–60
Преципитат	45–30	Нитрофоска	100–60
Костная мука	55–50	Диаммофос	30–15
Фосфоритная мука	80–50	Аммофос	45–30
Томасшлак	90–50	Калийная селитра	25–15

* Вносят одно из перечисленных удобрений

** Доза без внесения органических удобрений

*** Доза с совместным внесением органических удобрений

Сирень отзывчива на микроудобрения. Их применяют в виде некорневых подкормок. На 10 л воды берут 1–2 г медного купороса, 5–10 г сульфата марганца и по 2–3 г сульфата цинка и молибдата аммония. Опрыскивают этим раствором один-два раза за сезон – после цветения и в начале августа. Однако после такой подкормки при следующем цветении может слегка измениться оттенок окраски цветков.

Стрелиция – многолетнее растение. В культуре она отличается высокой продуктивностью до – 10–20 лет; обычно же длительность культуры составляет 10–12 лет.

Ценность стрелиции – в оригинальности ее цветков, продолжительной (до трех-четырех недель) сохранности в воде, периоде цветения с октября по март. Цветки стрелиции напоминают по форме экзотическую птицу, имеют оранжевые чашелистики и сине-фиолетовые лепестки, собранные по три-восемь в соцветие на высоком, до 70–100 см цветоносе.

Стрелицию размножают чаще всего семенами, поскольку при размножении отпрысками она в течение трех-четырех лет не цветет. Стрелицию выращивают на субстрате, состоящем из волокнистой дернины, полуперепревших листьев, перегноя, торфа и песка в соотношении 1:1:1:2:1. Оптимальное содержание питательных элементов в таком субстрате составляет: N – 100–150 мг/л; P – 150–200; K – 100–180; Ca – 1500–2000; Fe – 150–250; Mn – 30–50; Zn – 15–20; Cu – 10–15; B – 1,5–3,5; Mg – 0,2–0,8 мг/л.

Через каждые семь-десять дней стрелицию подкармливают минеральными удобрениями. Оптимальное соотношение N:P:K в субстрате в период бутонизации 0,5:2,5:1,5, в остальное время – 1:1,5:2. Подкормки прекращают в фазу цветения растений.

Тюльпан. Травянистый луковичный многолетник, эфемероид. Активное развитие надземных органов его приурочено к короткому периоду весны, когда в почве достаточно влаги, а температура воздуха не слишком высокая. До наступления жары растения заканчивают вегетацию, их корни, стебли и листья отмирают. Глубоко в земле остается только луковица, существующая за счет накопленных питательных веществ.

Лучшим местом для выращивания тюльпанов является открытый солнечный участок, защищенный от ветра, хорошо дренированный, с плодородной супесчаной или суглинистой почвой. Тюльпаны не переносят кислой почвы. Для понижения кислотности за два года до их посадки необходимо провести известкование. Участок должен быть хорошо спланирован, без впадин, на которых застаивается вода и луковицы могут вымокнуть.

Внесение свежего навоза при посадке луковиц приводит к загниванию корневой системы. Внесение навоза из расчета 10–20 кг/м² возможно лишь за три года до посадки тюльпанов. На окультуренных участках за месяц перед посадкой под основную обработку почвы вносят перегной из расчета 8–10 кг/м² и полное минеральное удобрение в дозе 30 г/м² аммонийной селитры, 60 – суперфосфата простого и 30 г/м² хлористого калия.

Подкормки тюльпанов проводят трижды в период вегетации. Первую подкормку проводят ранней весной, в начале их отрастания, когда надземная часть имеет высоту 6–10 см, вносят аммонийную селитру (20 г/м²). Мочевинной подкармливать в этот период нежелательно, так как азот из нее плохо усваивается растениями из-за частых весенних похолоданий, в результате чего снижается их устойчивость к заморозкам. Удобрения рассыпают между рядками посаженных луковиц в бороздки на глубину 8–10 см с последующей заделкой. Вторую подкормку проводят, когда появляются бутоны, т. е. недели через две после первой подкормки, мочевиной в дозе 10 г/м², простым суперфосфатом и калийной селитрой из расчета по 20 г/м².

Третью подкормку тюльпанов проводят фосфорно-калийными удобрениями в фазе цветения растений или через 10 дней после второй. Простой суперфосфат и калийную соль (по 20–30 г/м²) применяют также в бороздки на глубину 7–10 см. Удобрения вносят аккуратно, так, чтобы они не попадали на листву, что может вызвать ожоги. После подкормки рекомендуется полить растения или разрыхлить почву.

Флокссы относятся к малоприхотливым растениям, но для обеспечения хорошего развития и обильного цветения им надо предоставить достаточно питательную, рыхлую, нетяжелую почву. Они не выносят застойных вод, зимостойки. Размножаются вегетативно и семенами. Хорошо растут, обильно и долго цветут на супесчаных и легкосуглинистых, увлажненных, хорошо заправленных удобрениями почвах. Кислотность почвы должна быть от слабокислой до нейтральной.

Органические удобрения в дозе 8–10 кг/м² и золу – 150–200 г/м² вносят под зяблевую вспашку на глубину 20–22 см. Очень глубокая заделка удобрений нецелесообразна, т. к. основная масса корней у флоксов располагается на глубине 5–15 см. Весной под перепашку вносят минеральные удобрения из расчета N₁₀P_{10–12}K₁₀ г/м².

Первую подкормку флоксов проводят в период массового отрастания стеблей. Удобрения вносят из расчета N_{6–9}P_{3–4}K_{5–7} г/10 л воды. Вторую подкормку проводят в начале фазы бутонизации растений, удобрения вносят из расчета N₅P₅K₁₀ г/м². Третью подкормку дают в начале цветения: N₃P_{3–5}K_{3–5}, или 30–40 г золы на 10 л воды. В конце цветения флоксы подкармливают фосфорно–калийными удобрениями: P_{3–4}K₁₅ г/10 л воды. Эта подкормка способствует накоплению питательных веществ в растениях и их закалке.

Фрезия – клубнелуковичное перекрестноопыляемое растение. При выращивании из семян посев проводят в грунт оранжереи, на стеллажи, в ящики; субстрат – смесь листовой, дерновой и перегнойной земли в соотношении 1:1:1. Подкормку растений в парниках проводят в каждую одну–две недели водным раствором удобрения, содержащего аммонийную селитру и сульфат калия: в начале лета по 5 г на 10 л, а с середины лета соответственно по 5 и 10 г на 10 л воды. В течение сезона фрезью подкармливают несколько раз удобрениями с учетом агрохимической характеристики субстрата. Оптимальное содержание (0,2 н HCl) элементов питания в 1 л земляного грунта следующее: N–100–180 мг; P₂O₅–250–350; K₂O–400–500 мг. Нижняя граница оптимальна в период прорастания луковиц, верхняя – при отрастании вегетативной массы. На почвах плотных, с небольшим содержанием органического вещества и в период роста следует придерживаться нижнего уровня. В период отрастания листьев фрезью подкармливают удобрениями в соотношении NPK, равном 2:1:1. За период вегетации вынос элементов этой культурой составляет: N – 6,3 г; P₂O₅ – 2,7; K₂O – 6,9; Mg – 0,36 г/100 растений.

Фрезью можно выращивать гидропонным методом на маловлажном субстрате – гранитном щебне слоем 15–18 см. В течение первого месяца после посадки еженедельно проводят полив водой, затем питательными растворами следующего состава: N – 50–150 мг/л, K – 200, P – 60, Ca – 200, Mg – 50, S – 150–200, Fe – 2, Cu – 0,3, Zn – 0,5, Mn – 0,4, Co – 0,1, Mo – 0,1, B – 0,4 мг/л; pH – 5,5–6,5.

Хризантемы – одно- и многолетние травянистые и полукустарниковые растения; размножаются семенами, делением корневищ и зелеными черенками. Для них выбирают участок, защищенный от господствующих ветров; почва должна быть плодородной, влагоемкой и хорошо аэрируемой. Непригодны для хризантем легкие песчаные и супесчаные почвы, не обеспечивающие постоянную увлажненность. Кислотность почвы может сильно варьировать – рН_{KCl} от 5,5 до 7,5, однако, чтобы режим питания был оптимальным, ее лучше поддерживать в пределах рН 6,0–6,8. Хризантемы относятся к солевыносливым растениям, однако при избытке минеральных солей в почве корнеобразование у высаженных черенков замедляется, что в свою очередь нарушает снабжение их питательными веществами и водой. Допустимое содер-

жание водорастворимых солей в почве колеблется от 4–5 г/л на плотных сильноминерализованных почвах до 6,5–7,5 г/л на верховом торфе.

Участок для их посадки готовят предварительно, т. е. с осени его пахут на глубину 18–20 см или перекапывают на штык лопаты, предварительно внося перегной из расчета 10 кг/м² и фосфорно–калийные удобрения в дозе по 20 г/м².

Чтобы получить декоративный куст или несколько крупных соцветий у срезочных сортов хризантемы, растения к концу лета должны развить мощную вегетативную массу, заложить и сформировать бутоны и соцветия. Поэтому через две недели после высадки в открытый грунт проводят подкормку растений азотно-фосфорно-калийными удобрениями в соотношении NPK, равном 2:1:0,5. Оптимальное содержание в листьях хризантемы элементов питания следующее: N – 3,5–4,5 %, P₂O₅ – 0,9–1,1, K₂O – 3,8–4,5, Ca – 1,0–1,8, Mg – 0,40–0,55 %. Для диагностики отбирают третий–пятый лист сверху у низкорослых и пятый–седьмой у высокорослых сортов.

В качестве азотного удобрения используют мочевины или аммонийную селитру в дозе 20 г/м², в качестве фосфорных – простой суперфосфат (10 г/м²), калийных – калийную соль (5 г/м²). Вторую подкормку растений проводят в начале фазы бутонизации. В это время элементы питания, т. е. NPK, вносят в соотношении 1:2:1. Приведенные выше дозы удобрений даны в расчете на сухую подкормку. Однако возможно проведение подкормки в жидком виде. Для этого указанные количества удобрений растворяют в 10 л воды и на каждый куст расходуют 0,5 л рабочего раствора.

Цикламен. Почву под цикламены можно использовать различную, но обязательно рыхлую и влагоемкую. Эти свойства обеспечивают смеси, состоящие из листовой, полуперепревшей легкой дерновой земли, верхового слабо-разложившегося торфа, перегноя, древесных опилок и соломенной резки.

Для посева пригодны субстраты, содержащие не менее 20 % органического вещества, плотностью 0,2–0,6 г/см³, рН_{KCl} – 5,8–6,0. Избыточное содержание элементов питания в этот период снижает всхожесть семян. Поэтому удобрения вносят только в том случае, если почва бедна питательными веществами или нужно выровнять соотношение между ними.

Земельные смеси для пикировок и посадки цикламенов в горшки используют такого же состава, как для посева, но более плодородные. Плотность их должна быть не выше 0,6 г/см³, рН_{KCl} – 5,5–6,2 (на карбонатных почвах – 5,8–6,5). Составы смесей могут быть: дерновая земля с листовой и опилками (2:1:1); дерновая земля с листовой, торфом и перегноем (2:1:1:1); дерновая земля с торфом и песком (1:1–3:1–0,5); листовая земля с перегноем и торфом (1:1:2), торф с опилками (1–3:1). Желательно в земельную смесь добавлять до 5 % измельченной сосновой коры, внесение которой препятствует развитию грибных заболеваний.

Нормы основного удобрения, вносимого перед посадкой цикламенов, зависят от свойств используемых компонентов. Ориентировочно для первой пикировки можно рекомендовать полное удобрение в количестве 0,8 кг, для второй (посадка в горшки диаметром 9 см) – 1,5, для перевалки в горшки – 2,5–3 кг на 1 м³ субстрата. Если в состав субстрата входит низинный торф, то в него необходимо добавлять сернокислую медь в количестве 3–5 г/м³. Для лучшего распределения солей меди их смешивают предварительно с песком или вносят в жидком виде. При использовании перегноя или дерновой земли дозы удобрений несколько ниже, чем при применении торфа или опилок. Опилки бедны элементами питания. На их долю при составлении смеси вносят (кг/м³): 0,5–0,6 N (1,5–2 кг аммонийной селитры), 0,2–0,3 P₂O₅ (1,0–1,5 простого суперфосфата) и 0,2–0,3 K₂O

(0,5–0,7 кг сульфата калия). Опилки смешивают с удобрениями, а затем добавляют их к другим субстратам. Оптимальное содержание питательных веществ в субстрате следующее (мг/л): N – 60–150; P₂O₅ – 150–400; K₂O – 150–450; Ca – 250–350; Mg – 40–60; Fe – 15–25. Нижней границы придерживаются в период развития всходов и пикировок, верхней – после укоренения.

В весенне-летний период цикламен подкармливают раз в 2–3 недели раствором минеральных удобрений. Периодичность подкормки зависит от возраста растений и времени года. Молодые растения подкармливают раствором азотных и азотно-калийных удобрений в концентрации 0,1–0,15 %.

В первый период своего развития цикламен использует мало питательных веществ. Основное потребление их приходится на летний период, когда идет прирост вегетативной массы. В этот период наблюдается наибольшее потребление азота и калия. Вынос из почвы фосфора с момента интенсивного отрастания листьев до полного цветения остается приблизительно на одном уровне.

Подкормки начинают через несколько недель после укоренения растений и чередуют азотно-калийные удобрения с азотными и полными (NPK). Подкармливают растения примерно с интервалом 8–12 дней следующими удобрениями (г/10 л воды): первая подкормка – аммонийная селитра – 7–10, сульфат калия – 7–10; вторая – аммонийная селитра – 7–10 или сульфат аммония – 10–12; третья – аммонийная селитра – 7–10, сульфат калия – 7–10, суперфосфат простой – 7–10; четвертая подкормка – аммонийная селитра – 10–12 и т. д. В этот период подкормки минеральными удобрениями можно чередовать с подкормками коровяком (1:10–15).

В период интенсивного роста растений для подкормки используют более концентрированные растворы – до 0,3 %. Если требуется подкормка всеми элементами питания, то применяют следующие нормы (г/м³ воды): N – 200–300, P₂O₅ – 100–200. K₂O – 250–350. Периодичность подкормки – 7–14 дней. С середины августа или в сентябре дозы азотных удобрений уменьшают, а затем исключают совсем. При необходимости фосфорные и калийные удобрения вносят до появления окрашенных бутонов. Расход жидкости в подкормках – 0,1–0,2 л на растение. Если органические удобрения не используют, то раз в месяц летом вносят микроудобрения.

Критерием необходимости подкормок служит внешний вид надземных органов и корневой системы растений. При избытке азота вытягивается черешок листа. Корни должны иметь белый или светло-кремовый цвет. Если они потемнели, то подкормку прекращают до появления новых светлых корней.

Цинерария – двулетнее растение; культивируют на лёгких, рыхлых и влагоёмких субстратах с плотностью не выше 0,4 г/см³ для посева и пикировки и 0,7 г/см³ – для перевалки. Содержание органического вещества должно быть не ниже 15 %, рН_{KCl} 5,6–6,8, а при выращивании на торфяном субстрате рН 5,6–6,0. Для выращивания цинерарии используют смеси, состоящие из дерновой и листовой земли, перегноя (1:1:2); из дерновой земли, перегноя, слаборазложившегося торфа (1:1:1); листовой земли, перегноя и песка (2:1:0,5). Если используют дерновую землю тяжелого гранулометрического состава, то в субстрат добавляют рыхлящие материалы – крупный песок, древесные опилки, слаборазложившийся торф.

Семена высевают в ящики с легким плодородным субстратом. Пикировку проводят через две-три недели после посева, при появлении у сеянцев первого настоящего листа. Цинерарию сажают в горшки в период, когда листья растений начнут соприкасаться.

Цинерария требовательна к условиям питания. Дозы удобрений определяют по результатам анализов субстрата. Оптимальное содержание питательных элементов в нем: N – 100–200 мг/л; P₂O₅ – 250–400; K₂O – 200–350; Ca – 250–400; Mg – 30–60 мг/л. Нижний уровень содержания питательных элементов в субстрате поддерживают после укоренения саженцев и растений в горшках, верхний – при оптимальных условиях развития растений, о чем можно судить по содержанию питательных элементов в листьях: N – 2,8–4,0 %; P₂O₅ – 1,2–1,5; K₂O – 4–5; Ca – 1,2–1,5; Mg – 0,5–0,7 %. При содержании питательных элементов на 20–25 % ниже оптимального необходимы регулярные подкормки. Допустимая концентрация питательного раствора в подкормках зависит от состава субстрата. На гумусированных субстратах с плотностью до 0,5 г/см³ применяют 0,2 % растворы, а на более тяжелых минерализованных – 0,15 %. Подкормки повторяют с интервалом 10–15 дней в соответствии с данными агрохимического анализа. При появлении над поверхностью листьев бутонов интервал между подкормками увеличивают. Цинерарию подкармливают регулярно в течение всего периода выращивания, за исключением 5–6-недельного зимнего периода охлаждения.

Цинерарию можно выращивать методом гидропоники, используя инертные субстраты (вермикулит с песком, перлит) с содержанием 150–250 мг/л азота, 100–200 – фосфора, 250–400 – калия, 30–40 мг/л магния. Для этого в раствор вносят 200–380 г/м³ аммонийной селитры, 220–450 – двойного суперфосфата, 550–900 – калийной селитры и 300–400 г/м³ сульфата магния. Такой же состав удобрений применяют и для подкормок при почвенной культуре.

11.5.11. Удобрение водоемов и рисовых оросительных систем для выращивания рыбы

Разведение растительноядных рыб в водоемах и рисовых оросительных системах позволяет получить в хозяйствах дополнительно ценные пищевые продукты питания с незначительными затратами.

Рыбопродуктивность водоемов складывается из трех связанных между собой звеньев: первичной, промежуточной и конечной продукции водоема. Первичной продукцией в водоемах являются растения, в основном фитопланктон, т. е. совокупность свободно плавающих растительных организмов. Превращение питательных веществ завершается получением конечной продукции – рыбы, потребляющей промежуточную продукцию в виде зоопланктона (совокупность животных, населяющих водоем и пассивно переносимых течением) и бентоса (совокупность животных и растений, обитающих на грунте и в грунте водоема).

На все жизненные процессы рыб влияет внешняя среда. Под внешней средой для рыб понимают воду вместе с растениями и животными. Ихтиофауна водоема (совокупность всех рыб водоема) во многом зависит от факторов окружающей среды, действующих на организм рыбы, в частности, от площади и глубины водоема, характеристики грунта водоема, от населяющих водоем микроорганизмов, растений и животных, а также от гидрохимического и термического режимов. Химический состав воды зависит от поступления минеральных и органических удобрений, проточности воды, качества грунта и метеорологических условий.

Биогенные элементы попадают в водоемы и рисовые чеки с водами, поступающими по каналам, и в результате минерализации органических веществ самих водоемов. Тестом о наличии биогенных элементов в рыбохозяйственных водоемах является азот в форме отдельных соединений, таких как азот белковый, азот аммонийный, в форме солей азотистой (нитритов) и азотной кислот, ионов аммония и аммиака, азота органических соединений. По содержанию общего азота

возможно определить качество воды и прогнозировать ее изменения в зависимости от сочетания других показателей среды, от которых зависит переход одной формы соединения азота в другую. Соединения азота, в первую очередь нитриты, нитраты и аммонийный азот, используются растениями для построения клеток.

Рыбы и водные организмы в процессе своей жизнедеятельности выделяют аммиак, а отмершие зоо- и фитопланктон являются источниками белкового азота. После отмирания растений и животных в результате разложения органических веществ белковый азот переходит в аммонийную форму, а затем в нитриты и нитраты. Оптимальное содержание азота в воде рыбоводных прудов 1–2 мг/л.

Содержание фосфора и калия в воде прудов имеет большое значение в повышении их рыбопродуктивности. Принято считать благоприятным содержание растворимых соединений фосфора до 1 мг/л (в расчете на P_2O_5). Содержание фосфора выше 5 мг/л свидетельствует о сильном загрязнении водоема. Степень загрязнения водоема характеризуется большим избытком в воде хлоридов и сульфатов. Хлориды органического (моча, сточные воды) и минерального (солончаки, гипс) происхождения снижают в воде содержание кислорода, что отрицательно сказывается на жизни рыб. Качество воды рыбоводных прудов в значительной степени зависит от содержания железа. В воде железо содержится в виде двух- и трехвалентных соединений. При развитии восстановительных процессов трехвалентное железо переходит в растворимые двухвалентные соединения, которые при окислении осаждаются в виде рыже-бурого осадка, что особенно наглядно видно на мелкозатапливаемых водоемах (рисовые чеки, поля фильтрации сахарных заводов, торфяные карьеры) в прибрежных зонах. При большой концентрации двухвалентного железа в воде оно оседает на жабрах рыб, тем самым вызывает их удушье и гибель.

Для определения содержания в водоеме элементов питания проводят химический анализ воды и почвы. Вода и почва водоема должны иметь нейтральную или слабощелочную реакцию. Кислая среда резко снижает степень действия удобрений, поэтому водоемы с кислой реакцией известкуют.

Перед внесением удобрений водоем известкуют из расчета 1–2 ц/га извести, удаляют "жесткую" растительность (камыш озерный, клубнекамыш, рогоз). Удобрения вносят летом равномерно по поверхности водоема.

Наилучший вид удобрений – органические, они содержат почти все элементы питания, необходимые для развития водных растений и животных. Из органических удобрений лучшие – перепревший навоз: свиной, коровий, овечий и птичий, а также компост, навозная жижа, фекалии. Навоз вносят в почву, запахивая его осенью или весной перед наполнением водоема, на глубину не более 15 см. Хорошие результаты дает раскладывание навоза небольшими кучами по урезу воды в количестве 150–200 ц/га. Навозную жижу вносят небольшими дозами через 8–10 дней. Хорошие результаты дает зеленое удобрение, т. е. засев ложа осушенного водоема вико-овсяной смесью, люпином, донником или клевером. Это дает возможность получить сено и повысить продуктивность водоема. Можно молодые всходы посеянных культур заливать водой, при этом они быстро разлагаются, и в водоеме происходит массовое развитие мелких животных и растений, служащих пищей для рыб. Во время разложения всходов, в течение 10–12 дней, рыбу запускать в водоем не рекомендуется.

Из минеральных удобрений, в первую очередь, рекомендуется применять фосфорные, которые способствуют развитию фито- и зоопланктона – пищи для рыб. Фосфор необходим для построения скелета рыб, расходуется при мышечной и нервной деятельности, входит в состав плазмы крови. Ионы фосфора про-

никают в тело рыбы через кожные покровы, ротовую полость и жабры. В фосфорных удобрениях нуждаются почти все виды почв, но особенно супесчаные, глинистые, суглинистые, торфяные, подзолистые. Из фосфорных удобрений наиболее пригодны: суперфосфат, фосфоритная мука, костная мука, преципитат; ориентировочная норма их внесения P_{20-30} . Кроме фосфорных удобрений, в водоем полезно вносить азотные, т. к. азот необходим для развития растений и микроорганизмов, служащих пищей водным беспозвоночным животным, которыми питаются рыбы. Наилучший эффект азотные удобрения дают в сочетании с фосфорными и калийными. Из азотных удобрений применяют: сульфат аммония, аммонийную селитру, мочевины; ориентировочная норма внесения N_{4-5} . Удобрения разводят водой и разбрызгивают по водоему, на мелководные участки меньше, на глубоководные – больше. Не менее важны для водоема калийные удобрения, которые также необходимы для развития флоры и фауны. Большинство водоемов содержат достаточное количество калия, но песчаные и кислые почвы бедны этим элементом. На обилие калия указывают заросли элодеи ("водяной чумы"), стрелолиста, водокраса (лягушатника), частухи. При его недостатке растения принимают желто-бурую окраску, и листья становятся коричневыми. В качестве калийных удобрений применяют сильвинит, каинит, хлористый калий и сернокислый калий; норма внесения в водоемы – K_{30-100} . Калийные удобрения рекомендуется вносить вместе с фосфорными туками небольшими дозами и только в те водоемы, в которых недостает калия.

При удобрении водоемов следует учитывать, что действие их может продолжаться несколько лет. Эффективность удобрений водоемов зависит от наличия в них "жесткой" растительности и техники ведения рыбного хозяйства. Необходимо вести борьбу с чрезмерным развитием такой водной растительности, особенно сильно развивающейся под влиянием удобрений. Избыток такой растительности резко снижает эффективность удобрений. В удобряемых водоемах вода должна быть стоячей или иметь слабую проточность, при сильной проточности удобрения выносятся из водоема, и при высокой скорости фильтрации через дно удобрения перемещаются в глубокие почвенные слои и становятся недоступными обитателям водоемов.

Для внесения минеральных удобрений и извести в водоемы по воде, а также для порционной раздачи тестообразного корма пользуются катамаранами. Для внесения раствора минеральных удобрений в небольшие водоемы применяют опрыскиватель ОСШ-15. Осушенное ложе удобряют при помощи разбросной сеялки с самозагрузкой типа СТС-15 (Исаев А.И., 1968; Шишкин В.К., Середа М.В., 1999).

11.6. Технология применения удобрений и химических мелиорантов

В технологию применения удобрений и химических мелиорантов входят все работы, связанные с производством (органические и местные удобрения), транспортировкой, хранением, подготовкой к внесению и внесением.

11.6.1. Технология применения твердых минеральных удобрений, известкования и гипсования почв

Доставка удобрений с заводов-поставщиков осуществляется смешанным железнодорожно-автомобильным или автомобильным транспортом. Для предотвращения потерь при перевозке незатаренных удобрений автомобили должны иметь металлическую крышу или брезентовый тент. Пылевидные удобрения

лучше всего перевозить в автоцистернах-цементовозах. Транспортировка минеральных удобрений в контейнерах позволяет резко снизить их потери. Минеральные удобрения можно перевозить также тракторными прицепами.

Удобрения выпускаются заводами в течение всего года. Применяются же они в определенные агротехнические сроки. Поэтому удобрения должны храниться на складах. Задачей хранения является предотвращение снижения качества удобрений. Основным фактором ухудшения качества является влага. Удобрения должны храниться в сухих складах, в которые не попадает вода. В настоящее время имеется несколько типовых проектов складов минеральных удобрений. Выбор типа склада зависит от конкретных условий. При отсутствии специальных складов, удобрения хранят в приспособленных помещениях, которые должны иметь непроницаемую крышу. Около здания устраивают водоотводные каналы.

Доставленные на склад минеральные удобрения взвешивают и размещают в специально отведенные для каждого вида удобрения секции, которые разделяют щитами или переносными перегородками на отдельные отсеки для раздельного хранения различных видов и форм удобрений. Отсеки должны иметь этикетки с указанием вида и формы удобрения и содержания в нем действующего вещества.

Незатаренные удобрения хранят насыпью высотой 1,5–2 м для суперфосфата порошковидного, хлористого калия, калийной соли и до 2,5–3 м для менее гигроскопичных удобрений – фосфоритной муки и сульфата аммония.

Аммонийную селитру и карбамид, затаренные в мешки, кладут вручную крест-накрест в штабеля до 15 ярусов, сложные удобрения и гранулированный суперфосфат – до 20 ярусов.

Аммонийная селитра относится к взрывоопасным веществам. Ее нужно хранить отдельно, нельзя перевозить и хранить навалом, не допускать контакта с веществами, способными вступать с нею в реакцию.

Для внесения обычно необходимо готовить тукосмесь. Технология тукосмешивания состоит из следующих операций: подготовка удобрений к смешиванию – растаривание затаренных удобрений и измельчение слежавшихся с последующим просеиванием и смешивание их в смесителе.

Растаривание упакованных в бумажные или полиэтиленовые мешки минеральных удобрений и, при необходимости, измельчение их проводится специальными машинами.

Для тукосмешивания применяются тукосмесительные установки, в которые удобрения загружают фронтальными погрузчиками, а выгрузку готовых смесей – ленточными транспортерами. При подготовке тукосмеси необходимо учитывать правила смешивания. Подготовленные смеси нельзя долго хранить на складе, так как они могут слеживаться. Готовая смесь поступает на отгрузочный транспортер, с помощью которого подготовленные к внесению удобрения загружаются в транспортное средство или разбрасыватель.

При расстоянии до удобряемого поля до 3 км тукосмесь целесообразно транспортировать разбрасывателем и его же использовать для внесения удобрения. Такую технологию называют *прямоточной*. При расстоянии более 3 км используют автомобильные погрузчики, доставляющие удобрения до поля и загружающие полевые агрегаты. Такая технология получила название *перезрузочной*.

При *перевалочной* технологии удобрения доставляют на поле и выгружают на заранее подготовленную площадку. Затем с помощью тракторных погрузчиков удобрения с площадок перегружают в разбрасыватели.

Разбросное поверхностное внесение осуществляют туковыми сеялками и разбрасывателями минеральных удобрений. Для локального внесения мине-

ральных удобрений можно использовать приспособления к культиваторам–растениепитателям. Локальное внутривпочвенное внесение удобрений одновременно с посевом проводят комбинированными сеялками. Корневую подкормку проводят обычно одновременно с междурядной обработкой почвы культиваторами–растениепитателями. Некорневую подкормку выполняют наземными опрыскивателями, самолетами и вертолетами.

При поверхностном внесении удобрений отклонения от установленных доз должны быть не более $\pm 10\%$. Неравномерность внесения гранулированных удобрений допускается не более 20% , порошковидных – не более 25% , при подкормке – не более 15% . Перекрытие проходов должно составлять 5% ширины захвата агрегата.

При внутривпочвенном внесении удобрений отклонение от заданной глубины не должно превышать $1,5$ см. Неравномерность их внесения между отдельными сошниками не более 10% . Интервал между лентами для зерновых и зернобобовых культур $12\text{--}17$ см, пропашных – $20\text{--}30$ см. При использовании комбинированных сеялок удобрения размещают на глубину $5\text{--}15$ см от поверхности почвы и на $2\text{--}7$ см от глубины заделки семян. Под пропашные культуры ленты удобрений смещаются в сторону от рядка семян на $2\text{--}10$ см.

Авиационное внесение удобрений осуществляется путем последовательных заходов самолета или вертолета на удобряемый участок челночным или загонным способом. Удобряемые полосы при этом частично накладываются друг на друга. Расстояние между пролетами регулируются с помощью сигнальной линии из флажков или специальных зонтов, перемещаемых сигнальщиками на ширину рабочего захвата самолета или вертолета. Колебания распределения удобрений по площади не должны превышать $\pm 25\%$.

Наиболее экономичный радиус действия самолета с одной летной площадки $8\text{--}10$ км. Удобрения доставляются на сельскохозяйственный аэродром автомашинами и загружаются в самолет или вертолет специальными загрузчиками. Если на летной площадке есть склад, то удобрения предварительно завозят в него.

При известковании почв пылевидными известковыми материалами применяют прямоточную технологию транспортировки и внесения, если расстояние перевозки от склада до поля до 13 км при использовании тракторных агрегатов и $90\text{--}100$ км при использовании автомобильных агрегатов типа цементовозов. В остальных случаях применяют перегрузочную технологию. Слабопылящие известковые и гипсодержащие материалы вносят тракторными прицепами–разбрасывателями и автомобильными разбрасывателями, используя при небольших расстояниях прямоточную технологию, а при больших – перевалочную. Перегрузочная технология известкования применяется редко, при транспортировке слабопылящих материалов на расстояние $5\text{--}10$ км. Степень неравномерности внесения известковых материалов не должна превышать 25% заданной дозы, а фактическая доза не должна отклоняться от заданной более чем на 10% .

11.6.2. Технология применения жидких минеральных удобрений

Аммиачную воду (водный аммиак) в радиусе $20\text{--}30$ км вносят по схеме завод–поле. При больших расстояниях строят прирельсовые и глубинные склады. Для транспортировки используют специальные железнодорожные и автомобильные цистерны. Водный аммиак вносят в почву подкормщиком–опрыскивателем. Для предотвращения улетучивания аммиака, его вносят в почву на глубину $10\text{--}12$ см.

Безводный (жидкий) аммиак перевозят с завода на прирельсовый склад в аммиачных железнодорожных цистернах, а для доставки на поле автомобильным

или тракторным заправщиком, и вносят в почву специальными агрегатами. Работу по внесению жидкого аммиака выполняют так же, как и твердых минеральных удобрений по прямоочной, перегрузочной или перевалочной технологиям. Глубина заделки — на средних и тяжелых почвах 10–12 см, на легких – 14–16 см. Расстояние между рабочими органами под культуры сплошного сева 30–45 см, при возделывании пропашных культур следует проводить предпосевное локальное внесение аммиака по линии размещения семян, при подкормке пропашных культур расстояние должно соответствовать ширине междурядий. На сенокосах и пастбищах при двухукосном использовании расстояние между рабочими органами до 60 см, многоукосном – 30–34 см. Высев семян проводится не раньше 10 ч после внесения. Отклонение от заданной дозы не должно превышать 10 %. Потери аммиака при внесении не должны превышать 0,8 % дозы.

Хранение ЖКУ осуществляют на прирельсовых (1000–4000 т) и глубинных складах (100–800 т). В хозяйствах удобрение можно хранить в стальных емкостях. Для ЖКУ во время полевых работ используют стационарные или мобильные полевые цистерны с внутренним покрытием. Внесение ЖКУ осуществляют специальными машинами по обычным технологиям. ЖКУ вносят до посева, при посеве и в подкормку. Для поверхностного внесения может использоваться авиация.

11.6.3. Технология применения органических удобрений

Твердые удобрения вносят по прямоочной и перевалочной технологиям. При небольших объемах и малых расстояниях полей от животноводческих помещений применяют прямоочную технологию. Перевалочная технология применяется при большом выходе органических удобрений на крупных животноводческих комплексах, откуда их вывозят на поля круглый год и укладывают в штабели, а затем вносят в оптимальные агротехнические сроки навозоразбрасывателями.

Жидкие органические удобрения транспортируют из прифермских хранилищ и распределяют по поверхности поля машинами для внесения жидких органических удобрений или перекачивают на поле по трубопроводу по прямоочной технологии на расстояние до 5 км. При перегрузочной технологии удобрения из прифермских навозохранилищ доставляют крупнотоннажными транспортными средствами и перегружают в машины для поверхностного или внутрпочвенного внесения при удалении полей более 5 км. При перевалочной технологии жидкие органические удобрения транспортируют из прифермских хранилищ в полевые по трубопроводам или большегрузными цистернами. Из них удобрения распределяют по полю в благоприятные сроки цистернами-разбрасывателями или по трубопроводной системе напуском или дождеванием. Применяется при удалении полей более 5–7 км.

11.6.4. Технология применения удобрений с поливной водой

Одним из прогрессивных и высокопроизводительных способов применения удобрений является фертигация — внесение с поливной водой. В наибольшей мере преимущества фертигации проявляются при поливе дождеванием. Современные дождевальные машины позволяют оперативно и с большой точностью одновременно с поливом вносить требуемое количество элементов питания в необходимое для этого время. Увеличение урожая от совместного влияния орошения и элементов питания, как правило, превышает сумму прибавок от отдельного действия этих факторов. На фоне высокой культуры земледелия и при правильных поливных режимах прибавка урожая

от внесения удобрений с поливной водой составляет для большинства сельскохозяйственных культур 100–110 % к контролю без их применения.

Эффективность внесения удобрений с поливной водой во многом определяется равномерностью их распределения по орошаемой площади. Для достижения равномерности внесения удобрения необходимо учесть скорость и направление ветра, скорость вращения дождевальных аппаратов, величину гидравлического давления в дождевальной системе, а также равномерность дозирования маточного раствора удобрений в поливной поток. Вносимые таким образом удобрения должны легко и полностью растворяться в воде, не должны образовывать шламы, которые могут засорять водоводы, иметь химическую агрессивность в допустимых пределах.

Для обеспечения заданных норм и равномерности распределения удобрений с поливной водой используют дозаторы, обеспечивающие постоянный расход вводимого раствора, подающие раствор пропорционально расходу оросительной воды и поддерживающие постоянную концентрацию элементов питания в ней. Эффективность фертигации при дождевании зависит от правильного выбора машин. Необходимо обратить внимание на соответствие между интенсивностью дождя и водопроницаемостью почвы при заданных поливных нормах. Применение машин с повышенной интенсивностью дождя недопустимо, т. к. удобрительный раствор, не успевающий впитаться в почву, накапливается и начинает стекать по участку, а следовательно загрязняет окружающую среду. Кроме того, при высокой интенсивности дождя пониженные части микрорельефа переувлажняются и обогащаются элементами питания, а микроповышения получают меньше питательных веществ. На таком поле создается пестрота посевов, что снижает эффективность данного агроприема. Удобрительный полив дождеванием без образования луж и стока создает благоприятный режим в почве и обеспечивает высокие урожаи.

С поливной водой можно вносить все виды макро- и микроудобрений. Из азотных удобрений наиболее пригодны КАС — водные растворы карбамида и аммонийной селитры, мочевины и аммонийная селитра. Данный способ не приемлем для внесения раствора аммиака из-за токсичности и возможных больших газообразных потерь. Из вышеперечисленных твердых форм азотных удобрений наиболее предпочтительное — мочевина. Она содержит 46 % амидного азота и хорошо усваивается растениями. Имея нейтральную реакцию в водном растворе, мочевина может применяться в более высоких концентрациях при внесении с поливной водой (табл. 219; Носачев И.А., Найденов В.А., Баюнов В.М. и др., 1985).

Таблица 219– Допустимые концентрации мочевины для применения с поливной водой при дождевании

Культура	Концентрация, %
Фасоль, огурец	0,3–0,4
Томаты, кукуруза	0,4–0,6
Табак	0,3–1,2
Яблоня, вишня, слива	0,6–1,0
Капуста, картофель	0,8–1,6
Морковь	1,2–1,3
Лук	1,6–2,5
Свекла столовая	1,5–2,0
Зерновые	5–10
Люцерна, сахарная свекла	1,4–2,4

Из фосфорных удобрений лучше всего использовать аммофос в составе двухкомпонентного сложного азотно-фосфорного раствора с добавлением мочевины. Двойной суперфосфат менее приемлем для фертигации из-за образования значительного количества грубодисперсного шлама. Для внесения с поливной водой можно использовать ЖКУ – жидкие комплексные удобрения марки 10–34–0. Они содержат 10 % аммонийного азота и 34 % фосфора в форме аммонийных солей орто- и полифосфорных кислот различной степени замещенности.

Из калийных удобрений желателен применять сернокислый и хлористый калий, при растворении которых образуется незначительное количество нерастворимого осадка. Один хлористый калий применять нельзя, т. к. его раствор вызывает коррозию металла.

11.6.5. Техника безопасности и производственная санитария при работе с удобрениями

Все работы с минеральными удобрениями должны проводиться в строгом соответствии с действующими санитарными правилами по хранению, транспортировке и применению минеральных удобрений в сельском хозяйстве.

Склады минеральных удобрений располагаются с подветренной стороны от населенных пунктов (с учетом господствующих ветров) на расстоянии не менее чем 200 м, а склады для совместного хранения минеральных удобрений и пестицидов – не менее 500 м.

Склады, где хранят аммонийную селитру и аммиак, нужно содержать как огне- и взрывоопасные. В помещении для хранения аммонийной селитры не должно быть конструкций и деталей из дерева (кроме окон, дверей и ворот). Все склады должны обеспечиваться противопожарным инвентарем. Особую осторожность нужно соблюдать при работе с аммиаком, так как смесь его с воздухом взрывоопасна. Пользоваться открытым огнем ближе 10 м от складов аммиака запрещается.

К работе на машинах допускаются только лица, достигшие 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, обучение и инструктаж. Беременные и кормящие женщины, а также лица с заболеваниями легких к работе с минеральными удобрениями не допускаются.

При работе с механизмами необходимо соблюдать общие правила техники безопасности. Нельзя во время работы находиться вблизи разбрасывающих органов, а при работе дисковых разбрасывателей – в плоскости вращения дисков на расстоянии менее 50–80 м. Загрузка машин удобрениями проводится только при их полной остановке. Нельзя сидеть на машинах и находиться между трактором и машиной при транспортировке и внесении удобрений. Сошники комбинированных сеялок следует очищать специальными скребками и щетками. Скорость машины нельзя повышать сверх установленной техническими условиями.

Перевозка людей, пищевых продуктов, питьевой воды вместе с минеральными удобрениями запрещается.

После окончания работы с минеральными удобрениями необходимо вымыться с мылом.

При работе с аммиаком необходимо соблюдать специальные требования; все лица, связанные с этой работой, должны быть обучены правилам техники безопасности.

При внесении ЖКУ арматуру из цветных металлов необходимо заменить стальной. Следует остерегаться попадания удобрений на тело; особое внимание должно быть уделено защите глаз. При засорении трубопроводов, кранов, распылителей их следует разобрать, промыть водой или продуть ручным насосом.

На полях, где проведено поверхностное внесение твердых или жидких минеральных удобрений, выпас скота и домашней птицы запрещены.

Категорически запрещается спускаться в колодец или навозосборник без противогаза и предохранительного пояса с веревкой, без присутствия двоих напарников и специального инструктажа; удалять газ выжиганием огнем, выполнять в неочищенном от газа навозосборнике или колодце работы, которые могут вызвать образование искр. Во всех помещениях нужно следить за загазованностью. Все электрооборудование должно быть заземлено. Категорически запрещается вносить жидкие органические удобрения путем дождевания в 30-метровой зоне от линии электропередач.

Строгое выполнение правил техники безопасности и санитарных правил предотвращает несчастные случаи и производственные травмы у работающих с удобрениями.

11.7. Экономическая эффективность и энергетическая оценка применения удобрений

Применение удобрений в сельском хозяйстве должно быть экономически выгодно и энергетически целесообразно. Удельный вес удобрений в приросте урожая существенно колеблется. В черноземной зоне нашей страны он составляет 40–50 %, в нечерноземной зоне, где преобладают менее плодородные дерново-подзолистые и серые лесные почвы, – до 60–75 %. Для разработок более прогрессивных энергосберегающих приемов и технологий применения удобрений важна комплексная их оценка с учетом агрономической, экономической и энергетической эффективности.

11.7.1. Экономическая эффективность применения удобрений

Агрономическая эффективность применения удобрений оценивается величиной прибавки урожая, улучшением качества продукции и других хозяйственно-ценных показателей, при сохранении почвенного плодородия.

Анализ экономической эффективности применения удобрений позволяет не только оценить прибыль от их применения, но и наметить пути совершенствования отдельных агроприемов, связанных с их использованием. Анализ фактической окупаемости, оплаты затрат и экономической эффективности применения удобрений позволяет выявить резервы их повышения в конкретных условиях сельскохозяйственного производства.

Оценку экономической целесообразности внесения минеральных и органических удобрений, их доз и способов обычно производят научно-исследовательские учреждения, разрабатывающие эти приемы. Рекомендации, которые они выпускают, обязательно содержат сведения об ожидаемом экономическом эффекте. В этом случае расчеты ведутся на основании технологических карт с учетом конкретных затрат в производственных опытах, где обязательно для выполнения принципа единственного различия имеется вариант без внесения удобрений. Все расчеты производятся сравнением урожайности и затрат на варианте без удобрений с различными вариантами их применения. По их разности оценивается чистый доход, окупаемость затрат на применение удобрений, прибыль и норма рентабельности. Прибавку урожая и затраты оценивают по текущим ценам, что позволяет выявить целесообразность вложений в полученную прибавку урожая. В ряде случаев стоимостную оценку проводят в сопоставимых ценах. В условиях производства определение экономической эффективности применения удобрений под отдельную культуру или в севообо-

ороте проводится на основе сравнения урожайности на удобренной площади и на контрольной (неудобренной) полосе участка. Если не оставляют контрольных полос, то используют данные опытных учреждений по прибавке урожая в аналогичных условиях. Стоимость продукции выражается в закупочных ценах или в ценах фактической реализации.

Эффективность использования удобрений в хозяйствах далеко не одинакова и колеблется в широких пределах.

По многочисленным данным российских и зарубежных исследований, рост количества применяемых удобрений и урожайность находятся в прямой зависимости, выражающейся коэффициентом корреляции 0,8. Однако с увеличением доз удобрений выше оптимальных коэффициент использования их растениями снижается, возрастают непроизводительные потери питательных веществ и опасность загрязнения окружающей среды. В настоящее время затраты, связанные с применением средств химизации, превышают 20 % всех затрат в растениеводстве. Необходимость широкомасштабной химизации выдвигает в качестве первоочередной задачи ежегодное определение экономической эффективности использования удобрений с целью выбора наиболее рациональных приемов.

Для расчета экономической эффективности применения минеральных удобрений необходима следующая исходная информация:

- дозы удобрений, вносимые под соответствующие культуры, кг/га д. в.;
- урожайность культур, ц/га;
- фактические (текущие) цены на сельскохозяйственную продукцию, руб.

Эти показатели берутся из статистической отчетности и годового отчета.

Фактическая экономическая эффективность использования удобрений в производственных условиях характеризуется системой показателей:

– величиной прибавки урожая (в натуральном и стоимостном выражении) в расчете на 1 га и на всю площадь, на 1 ц питательных веществ и 1 руб. затрат, связанных с применением удобрений;

– условно–чистым доходом, полученным в результате химизации сельскохозяйственного производства, в расчете на 1 га и всю земельную площадь, а также на 1 руб. затрат;

- рентабельностью применения удобрений;
- снижением себестоимости продукции.

Одним из основных показателей этой системы является величина прибавки урожая, от точности определения которой зависит вся эффективность применения удобрений.

Величину прибавки урожая и долю участия в нем удобрений можно найти методом многофакторного дисперсионного анализа на основе многолетних данных производственных опытов. Краснодарским филиалом ВНИПТИХИМ (Эйсерт Э.К., Хомутов Ю.В., Эйсерт Б.Э. и др., 1984) на основе данных производственных опытов, проведенных в Краснодарском крае, разработана шкала по определению доли участия минеральных удобрений в урожае 25 сельскохозяйственных культур в зависимости от возможных доз вносимых удобрений в условиях производства. Агроному или экономисту для этой цели необходимо иметь сведения о фактически внесенной норме удобрений (Σ НРК, кг/га д. в.) под культуру и фактически полученном урожае.

Порядок определения экономической эффективности применения минеральных удобрений.

1. Анализ экономической эффективности начинается с установления прибавки урожайности за счет применения удобрений. Для этого необходимо

использовать результаты производственных опытов. Прибавка рассчитывается по разности урожаев с удобренной и неудобренной площади. Если опыт не проводился, за основу берется средняя прибавка, полученная в научных учреждениях. В этом случае точность расчетов несколько снижается.

2. Учитываются все затраты (З) на получение прибавки урожая от минеральных удобрений. Суммарные затраты складываются из: стоимости удобрений ($Z_{уд}$), расходов на разгрузку, хранение, подготовку, перевозку в поле и внесение минеральных удобрений ($Z_{вн}$); расходов на уборку, перевозку прибавки урожая от внесения удобрений с поля и ее доработку ($Z_{уб}$); расходы на реализацию прибавки урожая или закладку ее на хранение (Z_p); общепроизводственных, общехозяйственных и других расходов, относимых по бухгалтерскому учету на себестоимость сельскохозяйственной продукции (Z_n).

Если расчет ведется на перспективу, как прогностический вариант, то вместо фактических затрат используют нормативные, принятые в хозяйстве или фактически сложившиеся за ряд лет (табл. 220; Минеев В.Г., 1990).

Таблица 220 – Нормативы затрат удобрений на единицу прибавки урожая и окупаемости удобрений

Культура	Затраты питательных веществ удобрений, кг на 1 т урожая				Окупаемость 1 т удобрений прибавкой урожая, т
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	всего	
Зерновые	72	102	60	234	4,3
Хлопчатник	136	92	39	267	3,7
Сахарная свекла	11	12	11	34	29,2
Лен–долгунец	176	314	320	810	1,2
Подсолнечник	148	226	48	422	2,4
Картофель	13	13	12	38	26,6
Овощные	8	8	8	24	42,6
Силосные	10	9	8	27	37,2
Кормовые корнеплоды	8	8	8	24	42,9
Травы многолетние и однолетние (сено)	21	32	33	86	11,6
Луга и пастбища (сено)	31	23		77	13,0
Многолетние насаждения и ягодники	27	23		71	14,1

3. Определение чистого дохода (ЧД) от применения удобрений. Он определяется по формуле

$$\text{ЧД} = (C + c) - Z,$$

где: C – стоимость основной продукции, полученной в результате применения удобрений, руб.;
 c – стоимость побочной продукции, руб.;
 Z – сумма затрат, связанных с применением удобрений для получения прибавки урожая, руб.

4. Рентабельность (Р) применения удобрений — отношение чистого дохода к затратам, определяется в расчете на 1 год или за весь период действия удобрений с учетом последствий:

$$P\% = \frac{\sum \text{ЧД}}{\sum \text{З}} \cdot 100.$$

Рентабельность применения удобрений в севообороте за весь срок их действия можно рассчитать по формуле:

$$P = \frac{\sum \text{ЧД}}{\sum \text{З}} \cdot 100.$$

5. Окупаемость дополнительно применяемых затрат в стоимостном выражении определяется делением стоимости полученной прибавки на величину дополнительных затрат. Окупаемость удобрений в натуральном выражении определяется по формуле:

$$E = \frac{\text{П}}{\text{В}},$$

где: E – количество дополнительной продукции в натуре на единицу питательного вещества удобрений, ц;
 П – прибавка урожая в натуральном выражении, ц;
 В – количество внесенных питательных веществ под данную культуру, ц.

Этот показатель дает возможность правильно, экономически обоснованно выбрать способы и сроки внесения удобрений в различных зонах, в зависимости от типа почв, предшественника, уровня культуры земледелия, а также учесть эффективность системы удобрений в севообороте.

11.7.2. Энергетическая оценка применения удобрений

Оценка экономической эффективности применения удобрений, особенно на стадии разработки агроприемов, значительно затруднена. В основном это связано с нестабильностью цен на материальные и трудовые ресурсы. Однако новые удобрения и приемы использования требуют объективной оценки их преимуществ или недостатков. Такой объективной оценкой может быть определение энергетической эффективности возделывания культуры, применения технологического приема, нового вида удобрений и т.д. Для этого необходимо учесть все энергозатраты на возделывание культуры или использование технологического приема и энергосодержание урожая, выявить степень окупаемости энергозатрат энергосодержанием урожая. Энергетическая оценка при необходимости может быть переведена в любые денежные единицы, если известна стоимость одного гигаджоуля, т. е. может быть дана их экономическая оценка. При этом необходимо помнить, что это не прямой аналог оценки экономической эффективности агроприема.

Интенсификация сельскохозяйственного производства, рост урожайности культур сопровождаются увеличением затрат невозобновляемой энергии, в т. ч. и за счет возрастающего применения удобрений. Поэтому во всем мире и в нашей стране, в частности, разрабатываются энергосберегающие технологии, при которых сельскохозяйственная продукция производится с меньшими затратами.

Расход энергии на производство сельскохозяйственной продукции складывается из энергозатрат на удобрения, пестициды, горюче-смазочные материалы, амортизационные отчисления на трактора, сельскохозяйственные машины, автотранспорт; затрат на электроэнергию и затрат живого труда. Ана-

логичным образом учитываются затраты на отдельный агроприем. Каждый вид затрат специфичен для конкретных условий производства и изменяется в широком диапазоне. Объективность оценки зависит от точности их учета, что, однако, не всегда удается сделать, а поэтому приходится пользоваться усредненными показателями (табл. 221; Минеев В.Г., 1990).

Таблица 221 – Затраты энергии на производство энергоносителей

Статья затрат	Энергоносители	Энерго-емкость, МДж
Удобрения, 1 кг д.в.	азотные	86,8
	фосфорные	12,6
	калийные	10
	комплексные (нитроаммофоска и т.п.)	51,5
	известкование	8,5
	борные и молибденовые	180
	бактериальные (на 1 га)	15
	навоз (80 % влажности)	0,42
	торфо–навозные компосты (60 % влажности)	1,70
	известковые удобрения	3,80
	местные минеральные удобрения	2,90
	Регуляторы роста	ретарданты
Горюче–смазочные материалы	дизельное топливо	42,7
	бензин	44,1
	дизельное масло	41,4
Электроэнергия*		3,8
Живой труд*, за 1 ч работы:	легкой	1,3
	средней	1,9
	тяжелой	2,5
Сельхозтехника, оборудование, 1 т массы		5600

* – Энергосодержание.

Определение энергозатрат производится на основании технологической карты, являющейся основным документом для планирования технологических процессов и операций при возделывании сельскохозяйственных культур. Для определения энергетической эффективности отдельных агроприемов из технологической карты берут затраты на все виды работ, определяют расход дизельного топлива, бензина, смазочных материалов, электроэнергии, а также видовой состав и количество удобрений и пестицидов, затраты живого труда по категориям сложности, энергоемкость техники и энергоотчисления на гектар пашни и на единицу продукции. Расчет энергозатрат на известкование, а также внесение органических удобрений ведут с учетом их последствий.

Затраты на энергоносители увеличиваются в связи с необходимостью дополнительных работ до их целевого применения – складирования, расфасовки и т.п. Затраты на дробление слежавшихся удобрений, их погрузку, доставку и разгрузку, доставку в хозяйство горюче-смазочных материалов и других грузов не входят в энергозатраты на энергоносители, а учитываются в техно-

логической карте как самостоятельные операции. Категорию сложности живого труда определяют по справочнику.

При внесении удобрений необходимо учитывать энергозатраты на трактора и сельскохозяйственные машины. Для определения энергоёмкости техники необходимо знать массу каждой машины, энергозатраты на ее производство, нормы амортизационных отчислений, годовую норму выработки, норму амортизационных отчислений на 1 га эталонной пахоты (э. п.), затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание на 1 га э. п. (табл. 222; Минев В.Г., 1990; Посыпанов Г.С., 1997). Эти сведения для каждой машины берутся из справочника. Для расчета энергозатрат на конкретный технологический прием необходимо рассчитать фактическую выработку машины в гектарах э. п., пользуясь технологической картой.

Таблица 222 – Энергоёмкость техники и энергоотчисления

Марка машины	Масса, кг	Энергозатраты, МДж	Амортизационные отчисления		Годовая норма выработки, э.п. га	Амортизационные отчисления, МДж/га э.п.	Текущий ремонт и обслуживание, МДж/га э.п.
			%	МДж/год			
Т-150К	7535	42196	18,5	7806	1585	4,92	2,76
ДТ-75	5800	32450	18,5	6009	1375	4,37	1,90
МТЗ-80	3000	16800	17,5	2940	724	4,06	2,33
МТЗ-82	3200	17920	17,5	3119	756	4,12	2,36
ЛДГ-150	1600	8960	14,2	1272	325	0,39	0,23
ПЛН-5-35	1500	8400	12,5	1050	185	5,68	4,22
ЗКШ-6	1410	7896	14,2	1121	350	3,20	2,37
СЗ-3,6	1450	8120	14,2	1153	130	8,87	4,88
БЗТС-1	140	784	14,2	111	70	1,43	1,40
БЗСС	100	560	14,2	80	70	1,14	1,12
БДТ	1600	8400	12,5	1050	800	0,86	0,45
КПС-4	1600	8400	16,6	1394	520	2,68	2,22
РВК-3,6	2000	11200	14,2	1590	520	3,06	2,54
СК-6 "Колос"	9750	54600	16,0	8736	140	62,4	49,1
РМГ-4	800	4480	20,0	896	432	2,07	0,99
ОПШ-15	1000	5600	20,6	1120	1400	0,80	0,72

Затраты энергии на перевозку удобрений, прибавки урожая и другие транспортные расходы учитывают по затратам горючего, амортизационным отчислениям на транспортные средства и затратам живого труда или по усредненным энергозатратам на 1 тонно-километр, которые в среднем можно принять равными 40 МДж.

Рассчитав отдельные статьи энергозатрат, определяют общие затраты энергии на производство продукции.

Следующим этапом является определение содержания энергии в урожае основной и побочной продукции. Энергосодержание зависит от величины урожая и его химического состава – количества жиров, белков и углеводов.

Энергоёмкость органических веществ составляет: углеводов 16,72 МДж/кг (4000 ккал), белков 22,99 (5500), жиров 37,62 МДж/кг (9000 ккал) (1кал=4,18 Дж). Поскольку в зерне, семенах и вегетативной массе различных культур

соотношение углеводов, белков и жиров различно, то и энергосодержание их существенно различается (табл. 223–225; Посыпанов Г.С., 1997).

Таблица 223 – Содержание органических веществ и энергии в урожае полевых культур

Культура	Угле- во- ды, % от сухо- го веще- ства	Бел- ки, % от су- хого веще- ства	Жи- ры, % от сухо- го веще- ства	Содержание энергии, ГДж/т			
				в уг- лево- дах	в бел- бел- ках	в жи- рах	всего
Зерно злаковых культур и гречихи							
Пшеница	84	14	2,0	14,1	3,2	0,8	18,1
Рожь	85	13	2,0	14,2	3,0	0,8	18,0
Ячмень	85,6	12	2,4	14,3	2,8	0,9	18,0
Овес	82	12	6,0	13,7	2,8	2,3	18,7
Кукуруза	84	11	5,0	14,0	2,5	2,0	18,5
Просо	83,5	12	4,5	14,0	2,8	1,7	18,5
Сорго	88	10	2,0	14,7	2,3	0,8	17,8
Рис	91	7	2,0	15,1	1,8	0,8	17,7
Гречиха	84	13	3,0	14,0	3,0	1,1	18,1
Семена зерновых бобовых культур							
Горох посевной	74	24	2,0	12,4	5,5	0,8	18,7
Горох полевой	77	21	2,0	12,9	4,8	0,8	18,5
Соя	42	40	18,0	7,0	9,2	6,8	23,0
Фасоль	67	30	3,0	11,2	6,9	1,1	19,2
Чечевица	65	30	5,0	10,9	6,9	1,2	19,0
Бобы кормовые	70	28	2,0	11,7	6,4	0,8	18,9
Нут	75	23	5,0	12,0	5,3	1,9	19,2
Чина посевная	70	28	2,0	11,7	6,4	0,8	18,9
Вика посевная	67	31	2,0	11,2	7,1	0,8	19,1
Люпин белый	52	38	10,0	8,7	8,7	3,8	21,2
Люпин желтый	51	42	7,0	8,5	9,7	2,6	20,8
Люпин узколистый	58	36	6,0	9,7	8,3	2,3	20,3
Побочная продукция, естественная влажность							
Солома мятликовых	82	1	—	13,7	0,2	—	13,9
Солома гречихи	81	2	—	13,5	0,5	—	14,0
Стебли зернобобовых	77	5	—	12,9	1,2	—	14,1
Листья корнеплодов	21	2	—	3,5	0,5	—	4,0
Полова, мякина	80	3	—	13,3	0,7	—	14,0
Корнеплоды и клубнеплоды, сырая масса							
Свекла сахарная	25	2	0,1	4,2	0,5	0,1	4,8
Свекла кормовая	23	1,5	0,1	3,9	0,4	0,1	4,4
Брюква	25	2	0,1	4,2	0,5	0,1	4,8
Турнепс	22	1,5	0,1	3,7	0,4	0,1	4,2
Морковь	23	2	0,2	3,9	0,5	0,2	4,6
Картофель	24	2	0,3	4,0	0,5	0,2	4,7
Топинамбур	25	2	0,3	4,2	0,5	0,2	4,9

Таблица 224 – Содержание органических веществ и энергии в урожае кормовых культур

Культура	Углево- во- ды, % от су- хого веще- ства	Бел- ки, % от сухо- го веще- ства	Жи- ры, % от сухо- го веще- ства	Содержание энергии, ГДж/т			
				в угле- водах	в бел- ках	в жи- рах	все- го
Многолетние бобовые травы в фазе начала цветения							
Клевер луговой	82,5	16	1,5	13,8	3,7	0,6	18,1
Клевер ползучий	78,5	20	1,5	13,1	4,6	0,6	18,3
Люцерна средняя	79,5	19	1,5	13,3	4,4	0,6	18,3
Козлятник восточ- ный	80,5	18	1,5	13,5	4,1	0,6	18,2
Лядвенец рогатый	78,5	20	1,5	13,1	4,6	0,6	18,3
Донник белый	79,5	19	1,5	13,3	4,4	0,6	18,3
Эспарцет	80,5	18	1,5	13,5	4,1	0,6	18,2
Многолетние мятликовые травы в фазе цветения							
Тимофеевка луговая	92	7	1	15,4	1,6	0,4	17,4
Кострец безостый	89	10	1	14,9	2,3	0,4	17,6
Овсяница луговая	90	9	1	15,0	2,1	0,4	17,5
Ежа сборная	87	12	1	14,6	2,8	0,4	17,8
Житняк	90	8	2	15,0	1,8	0,4	17,2
Волоснец сибирский	84	14	2	14,0	3,2	0,8	18,0
Зеленая масса однолетних бобовых в фазе налива семян							
Вика посевная	77	21	2	12,9	4,8	0,8	18,5
Вика мохнатая	79	19	2	13,2	4,4	0,8	18,4
Чина посевная	75	23	2	12,5	5,3	0,8	18,6
Горох посевной	79	19	2	13,2	4,4	0,8	18,4
Горох полевой	79	19	2	13,2	4,4	0,8	18,4
Бобы кормовые	81	17	2	13,6	3,9	0,8	18,3
Соя	76	22	2	12,7	5,1	0,8	18,6
Люпин желтый	77	21	2	12,9	4,8	0,8	18,5
Люпин белый	77	21	2	12,9	4,8	0,8	18,5
Люпин узколистный	82	17	2	13,7	3,9	0,8	18,2
Зеленая масса мятликовых культур в фазе молочного состояния зерна и подсолнечника в фазе цветения							
Рожь	87	12	1	14,6	2,8	0,4	17,8
Овес	88	11	1	14,7	2,5	0,4	17,6
Кукуруза	90	9	1	15,1	2,1	0,4	17,6
Сорго	88	10	2	14,7	2,3	0,4	17,4
Подсолнечник	88	10	2	14,7	2,3	0,4	17,4
Зеленая масса смешанных посевов							
Вика + овес	81	17	2	13,6	3,9	0,8	18,3
Чина + овес	82	17	1	13,7	3,9	0,4	18,0
Горох + овес	83	15	2	13,9	3,5	0,8	18,2
Вика озимая + рожь	83	16	2	13,9	3,7	0,8	18,4
Соя + кукуруза	83	15	2	13,9	3,5	0,8	18,2

Таблица 225 – Содержание энергии (L) и коэффициент перевода продукции в сухое вещество, ед. (Ri)

Культура	Коэффициент перевода продукции в сухое вещество	Содержание* общей энергии в 1 кг сухого вещества	Содержание общей энергии в 1 кг урожая в натуре (Ri·1), МДж
Пшеница озимая (зерно)	0,86	19,13	16,45
Пшеница яровая мягкая (зерно)	0,86	19,31	16,61
Пшеница яровая твердая (зерно)	0,86	19,49	16,76
Рожь (зерно)	0,86	19,49	16,76
Ячмень (зерно)	0,86	19,13	16,45
Овес (зерно)	0,86	18,80	16,17
Просо (зерно)	0,86	19,70	16,94
Гречиха (зерно)	0,86	19,38	16,67
Рис (зерно)	0,86	18,59	15,99
Фасоль (зерно)	0,86	20,68	17,78
Горох (зерно)	0,86	20,57	17,69
Сорго (зерно)	0,86	18,34	15,77
Кукуруза (зерно)	0,86	17,60	15,14
Кукуруза (зеленая масса)	0,25	16,39	4,10
Хлопчатник (волокно)	0,76	19,81	15,06
Хлопчатник (семена)	0,86	21,00	18,06
Лен–долгунец (волокно)	0,89	20,24	18,01
Лен–долгунец (семена)	0,88	23,50	20,68
Сахарная свекла	0,14	18,26	2,56
Подсолнечник (семена)	0,92	19,38	17,83
Подсолнечник (зеленая масса)	0,25	16,80	4,20
Соя (зерно)	0,88	20,57	18,10
Картофель	0,20	18,29	3,66
Бахчевые	0,11	14,90	1,64
Овощные	0,10	14,36	1,44
Кормовые корнеплоды	0,25	16,39	4,10
Многолетние травы (сено)	0,20	18,91	3,78
Люцерна на сено	0,25	21,83	5,46
Однолетние травы на сено	0,20	16,39	3,28
Лугопастбищные травы (в пересчете на сено)	0,20	16,19	3,24
Зернофуражные культуры на зеленый корм (в пересчете на сено)	0,30	15,40	4,62
Табак (махорка)	0,45	20,20	9,09
Конопля (волокно)	0,90	19,60	17,64
Конопля (семена)	0,88	21,00	18,48

* Приводится при условной стандартной влажности на основании государственных стандартов на качество продукции (технические требования).

Величина урожая является итогом всех агротехнических мероприятий. В этом результирующем признаке отражается влияние всех внешних факторов на агроценоз. Это влияние распространяется не только на величину урожая, но и его химический состав, а, следовательно, и на содержание энергии в основной и побочной продукции. Зная урожай и энергоёмкость основной и побочной продукции, рассчитывается суммарное энергосодержание урожая.

Энергетическая оценка эффективности технологического приема. Зная энергетические затраты на выращивание культуры и содержание энергии в урожае основной и побочной продукции, проводят энергетическую оценку эффективности возделывания культуры или применяемого агроприема.

Основными критериями оценки энергетической эффективности являются:

- чистый энергетический доход, определяемый как разница между содержанием энергии в урожае и общими затратами на возделывание культуры;
- коэффициент энергетической эффективности – отношение чистого дохода к энергозатратам;
- биоэнергетический коэффициент (КПД) посева – отношение полученной с урожаем энергии к затраченной;
- энергетическая себестоимость продукции – затраты энергии на единицу урожая.

Количество энергии, накопленной в основной сельскохозяйственной продукции, полученной от применения минеральных удобрений, определяется по формуле:

$$V_{10} = У_{п} \cdot R_i \cdot L \cdot 100,$$

где: V_{10} – содержание энергии в основной (хозяйственно-ценной) продукции, МДж;

$У_{п}$ – урожайности основной продукции от применения удобрений, МДж;

R_i – коэффициент перевода единицы сельскохозяйственной продукции в сухое вещество;

L – содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества основной продукции, МДж;

100 – коэффициент перевода ц в кг.

В совокупных энергозатратах на осуществление технологического процесса минеральные удобрения в расчете на 1 кг д. в. оценивается следующим количеством энергии (МДж): азотные – 86,6 (a_N), фосфорные (a_P) – 12,6, калийные (a_K) – 8,3; навоз (80 % влажности) – 0,42 (табл. 226; Минеев В.Г., 1990).

Таблица 226 – Энергетический КПД (энергоотдача) применения удобрений и энергозатраты на 1 ц прибавки урожая основной продукции

Культура, норма минеральных удобрений, кг/га д.в.	Энергетический КПД применения удобрений, ед.			Энергозатраты на 1 ц прибавки урожая основной продукции, МДж
	основной продукции	наземной массы	биологический	
Озимая пшеница, $N_{78}P_{72}K_{56}$	1,54	3,34	4,47	1063
Озимая рожь, $N_{85}P_{75}K_{67}$	1,49	4,47	5,12	1128
Яровая пшеница, $N_{60}P_{65}K_{38}$	1,29	2,97	3,44	1292
Яровой ячмень, $N_{78}P_{72}K_{61}$	1,76	3,70	4,31	939
Овес, $N_{81}P_{79}K_{63}$	1,62	3,80	4,38	1002
Кукуруза на зерно, $N_{81}P_{81}K_{56}$	1,87	4,49	5,06	805
Картофель, $N_{109}P_{98}K_{109}$	2,20	3,96	4,40	166
Сахарная свекла, $N_{110}P_{123}K_{119}$	1,95	3,46	2,74	131
Лен–долгунец (волокно), $N_{45}P_{80}K_{86}$	1,27	1,53	2,09	2478
Хлопчатник (хлопок–сырец), $N_{229}P_{157}K_{79}$	0,86	3,71	4,08	1804
Подсолнечник на семена, $N_{42}P_{58}K_{32}$	1,32	8,33	9,14	1318

Наименьшая энергетическая ценность наблюдается у азотных удобрений, что связано с более высокими энергозатратами на их производство по сравнению с фосфорными и калийными удобрениями.

Энергетические затраты (A_0) на применение минеральных удобрений определяются по формуле:

$$A_0 = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K),$$

где: H_N, H_P, H_K – соответственно фактическая норма внесения азотных фосфорных и калийных удобрений, кг/га д. в.;

a_N, a_P, a_K – энергетические затраты в расчете на 1 кг д. в. азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Энергетическая эффективность (энергоотдача или биоэнергетический КПД) применения минеральных удобрений (η) определяется по формуле:

$$\eta = \frac{V_f}{A_0},$$

где: V_f — количество энергии, полученной в прибавке основной продукции от минеральных удобрений, МДж;

A_0 — энергозатраты на применение удобрений, МДж.

12. МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением.

М.В. Ломоносов, 1739

Тайный язык статистики, кажущийся столь привлекательным представителям цивилизации, используется, чтобы произвести сенсацию, инфляцию, смятение или чересчур упростить что-либо. Статистические методы и термины необходимы, чтобы сообщить о характерных чертах, социальных и экономических тенденциях, о деловой деятельности, о результатах опросов и наблюдений. Однако если те, кто употребляет эти слова, не будут знать, что эти слова обозначают, результаты могут оказаться в лучшем случае бессмысленными.

D. Huff, 1954

12.1. Уровни и виды исследований

Научные исследования – это процесс изучения конкретного объекта, явления или предмета с целью раскрытия закономерностей их возникновения и развития, а также преобразования в интересах общества. Общей целью каждого научного исследования является познание законов природы и их использование в практической деятельности людей (Моисейченко В.Ф., 1988).

Принято выделять три взаимосвязанных и взаимообусловленных уровня исследований: **описательный, экспериментальный и теоретический.**

Описательный уровень характерен для периода первоначального накопления знаний об изучаемом объекте. При этом фиксируются (описываются) наблюдения за изучаемым объектом и сопутствующими явлениями вне постановки эксперимента, т. е. без воздействия на объект. На основании таких исследований можно получить сведения о росте и развитии растений в период засухи и избыточного увлажнения, холодной или жаркой погоды в отдельные периоды вегетации, выращивании на различных почвах и разных климатических условиях.

Для экспериментального уровня исследований характерна постановка опытов, на основании которых накапливаются данные. Эти данные анализируются, обобщаются и на их основе делаются практические выводы, а также планируются новые эксперименты, которые позволяют уточнить отдельные выводы и получить новые сведения. Например, было установлено увеличение продуктивности растений при внесении в почву гипса. При этом причина этого положительного воздействия оказалась за рамками эксперимента. Для ее выяснения необходимо провести целый ряд экспериментов как с почвой, так и растениями. В частности, требуется установить, на каких типах почв и у каких видов растений наблюдается рост продуктивности, в каких количествах необходимо вносить гипс, какие процессы происходят при этом в почве и растениях и так далее. По мере накопления сведений, они обобщаются, анализируются и на их основе строится теория.

Термин "теория" в зависимости от уровня обобщения трактуется как: 1) обобщение опыта, общественной практики, отражающее объективные закономерности развития природы и общества; 2) совокупность обобщенных положений, образующих какую-либо науку или раздел ее, а также правил в области

какого-либо мастерства, искусства; 3) совокупность научных положений, учение о каких-либо явлениях, фактах; 4) система взглядов по какому либо вопросу.

На теоретическом уровне исследований синтезируются знания, формируются общие закономерности в определенной области знаний. Основой для этой деятельности являются результаты экспериментов. Однако, теория это не механическая сумма данных множества экспериментов, а качественно новая ступень познания, объясняющая взаимосвязь и взаимообусловленность отдельных процессов. Например, теория минерального питания объясняет причинно-следственные связи процессов трансформации элементов питания в почве, их поступление, превращение и передвижение в растениях, а также участие в синтетических процессах. На уровне формирования теории выдвигаются гипотезы о процессах, экспериментальные данные по которым отсутствуют. Для подтверждения теоретических положений необходимо провести эксперимент. Следовательно, экспериментальный и теоретический уровень познания объектов, процессов и явлений тесно взаимосвязаны. Теория используется для более глубокого понимания результатов эксперимента, а эксперимент в свою очередь служит исходным материалом для создания теории.

Весьма условно научные исследования подразделяются на **фундаментальные** и **прикладные**. В процессе **фундаментальных** исследований изучаются новые явления и открываются законы природы, расширяются знания об окружающем мире. Фундаментальные исследования являются основой всех научных работ. **Прикладные** исследования направлены на изучение частных проблем. Такое деление весьма условно, т. к. на определенных этапах фундаментальные исследования могут переходить в прикладные и наоборот. Конечной целью всех прикладных исследований является внедрение их результатов в практику. Применительно к агрохимии фундаментальными исследованиями можно считать изучение фотосинтетической деятельности растений, а прикладными – установление оптимальных норм, форм, способов и сроков внесения удобрений, обеспечивающих максимальную продуктивность фотосинтеза.

Для получения новых знаний, а также использования в практической деятельности человека уже известных, в частности, с целью получения более высоких урожаев сельскохозяйственных культур, проводятся научные исследования.

12.2. Методы исследований

Метод исследования – это способ познания явлений природы. Различают следующие методы исследований: **всеобщий**, **общенаучные** и **конкретно-научные**, т. е. **частные**.

Всеобщий метод научного исследования применяется на всех трех уровнях исследований: описательно-обобщающем, экспериментальном и теоретическом. Он требует изучения явлений, объектов, предметов и результатов исследований в их связи, взаимодействии и взаимообусловленности, в движении и изменении во времени и пространстве.

Общенаучные методы исследований – методы, используемые независимо от области исследований. Такими методами являются: выдвижение рабочих гипотез, постановка эксперимента, наблюдение, анализ, синтез, индукция, дедукция, абстрагирование, конкретизация, аналогия, моделирование, формализация, создание теории.

Выдвижение рабочих гипотез. **Гипотеза** – научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого либо явления и требующее проверки на опыте и теоретического обоснования для того, чтобы стать достоверной

научной теорией. Вообще, гипотеза – предположение, требующее экспериментального подтверждения. Строго говоря, любое научное исследование начинается с выдвижения рабочей гипотезы. Гипотеза выдвигается на основе уже известных знаний. Например, у растений риса поражаются точки роста растений, более молодые верхние листья становятся бледно-зелеными, окраска жилок листа приобретает светлый оттенок. На основании имеющихся знаний выдвигается гипотеза, что растения испытывают недостаток серы. Это рабочая гипотеза, для проверки которой планируется эксперимент.

Эксперимент – научно поставленный опыт, наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и многократно воспроизводить его результаты при повторении этих условий. Под экспериментом понимают целенаправленное воздействие исследователя на изучаемый объект в соответствии с целями опыта. При этом изучаемый объект ставится в различные, заранее запланированные условия. В одном опыте можно изучать одно или несколько явлений, расчлняя их в процессе проведения опыта и анализа результатов. Эксперимент является ведущим методом агрохимических исследований. В процессе проведения экспериментов исследователь обязательно проводит наблюдения.

Наблюдение – это количественная или качественная регистрация интересующих исследователя сторон развития явления, констатация наличия того или иного его состояния, признака или свойства. Примеры наблюдений: регистрация даты наступления фаз, фиксирование повреждений болезнями и вредителями, наблюдения за динамикой пищевого и водного режимов почвы, ростом растений, засоренностью посевов. При наблюдениях учитывается как наступление события, например появление всходов, так и его количественная оценка – учет числа растений на единице посевной площади.

Для наблюдения и регистрации тех или иных свойств или состояний явлений применяют разнообразные средства измерений. Все учеты и наблюдения необходимо проводить по специальным методикам в соответствии с государственными стандартами. Для наблюдений необходимо использовать весы, термометры, колориметры и другие приборы, которые раз в году проверяются в Центрах стандартизации и метрологии. По результатам проверки на приборах ставится клеймо, либо выдается свидетельство о проверке.

Наблюдение дает экспериментатору количественную или качественную характеристику явлений, но не вскрывает его сущности. В ряде случаев этого вполне достаточно для установления связи между отдельными явлениями, признаками или свойствами и позволяет предвидеть эти явления, а следовательно, оказывать на них определенное влияние. Кроме того, сопутствующие наблюдения в опыте позволяют сделать более обоснованные выводы.

Наблюдение может использоваться и как самостоятельный метод исследования. Наиболее широко им пользуются на метеорологических станциях, где ведутся систематические наблюдения за явлениями природы: температурой воздуха и почвы, количеством осадков и высотой снежного покрова, скоростью ветра.

По сравнению с наблюдением эксперимент имеет большее преимущество. Главным его преимуществом, благодаря которому он стал господствующим методом исследования во всех естественных науках, является возможность воссоздавать явление, не дожидаясь, когда оно наступит в природе, воздействовать на него в нужном исследователю направлении, явление (анализ) можно расчлнять и вновь объединять его (синтез), создавать запланированные сопутствующие условия опыта, которые позволят глубже изучать явление.

При получении экспериментальных данных и их интерпретации используют метод **анализа, синтеза, индукции и дедукции**.

Анализ – метод исследования, с помощью которого изучаемый предмет мысленно или практически расчленяется на составные части для более детального изучения. Так, при изучении роста растений их расчленяют на отдельные органы – корни, стебли (побеги), листья, цветы, плоды; при анализе урожая зерновых культур – различают ее структуру (число растений на площади, продуктивную кустистость, длину колоса (метелки), число колосков, массу зерна с колоса (метелки) и растения, массу 1000 зерен. Анализ как метод исследования используется только в связи с синтезом.

Синтез – метод научного исследования какого-либо предмета или явления, состоящий в познании его как единого целого, в единстве и взаимной связи его частей; синтез в процессе научного познания связан с анализом. Иными словами это объединение расчлененных и проанализированных частей в единое целое с целью получения более полных выводов и подробных обобщений. Например, объединив данные по изменению роста корней и стеблей под влиянием азотных удобрений, приходим к выводу о росте растений в целом; влияние уровня минерального питания на продуктивность растений рассматривается в неразрывной связи с почвенно-климатическими условиями; после анализа каждого варианта, их объединяют в единый опыт, по которому делают выводы, обобщения и как конечный синтез дают рекомендации производству. Таким образом, анализ и синтез как диалектическое единство и противоположность способствуют более полному изучению эффективности агроприемов и явлений.

Индукция – логическое умозаключение от частных, единичных случаев к общему выводу, от отдельных фактов к обобщениям. Это метод, с помощью которого рассуждения ведутся от фактов к конкретным выводам. Так, если листья на растениях увядают, то на основании этого факта делают вывод о недостатке влаги; при пожелтении листьев делают вывод о нарушении минерального питания, а если в одном из вариантов опыта получена наиболее высокая урожайность и качество продукции, то делают выводы и предложения о внедрении параметров (например, норм и форм удобрения) этого варианта в производство. Это и есть использование метода индукции в исследованиях.

Дедукция – логическое умозаключение от общего к частному; от общих суждений к частным или другим общим выводам. Посредством дедукции ведутся рассуждения от общих положений к выводам. Например, при гибели растений в посеве можно предположить, что она произошла вследствие: низких температур, дефицита влаги, недостатка элементов питания, повреждения болезнями и вредителями, засоленности почвы и т. д. Последовательно проверяя наши предположения, исключают те, которые не отличаются от среднесезонных параметров, делают вывод о причинах гибели растений.

Абстракция – мысленное отвлечение от ряда свойств предметов и отношений между ними. Иными словами **абстрагирование** – это теоретическое обобщение результатов опыта или мысленное выделение главного, наиболее существенных связей при отвлечении от всех остальных. Используются два типа абстракций: изолирование – для выделения главного; отождествление – для образования понятий о системе, классах. Примером абстракции-отождествления может служить систематика, а абстракции-изолирования в принципе любой эксперимент, когда из множества взаимосвязей в изучаемой системе или организме выделяется главная. В частности, при установлении

причин низкой продуктивности растений из множества факторов, влияющих на ее формирование, выделяют главный – в зависимости от условий произрастания это может быть низкое плодородие почвы или ее засоленность, низкие температуры воздуха и т. д. Только изолированное изучение их воздействия на продуктивность растений позволит выяснить, который из них является лимитирующим в данных условиях, а также установить их совместное воздействие. Обобщение опыта в почвоведении и растениеводстве приводит к созданию теории почвообразовательных процессов, а обобщения науки и практики агрохимии и физиологии растений путем абстрагирования способствовали появлению теории минерального питания.

Следует особо подчеркнуть, что практически каждое исследование начинается с построения абстрактного идеального образа объекта или явления, не существующих в реальном мире. При этом свойства мысленно изучаемого предмета или явления доводятся до оптимальных значений. Так, при разработке технологии выращивания сельскохозяйственных культур идеальным является полная реализация потенциальной продуктивности.

Конкретизация – метод исследования, с помощью которого от абстрактного переходят к конкретному. Например, установив, что причиной низкой продуктивности посевов риса является засоленность почвы, исследователь мысленно снова возвращается к системе взаимодействий почва-растение и конкретизирует связь засоления почвы с продуктивностью растения – снижает ли присутствие засоряющих ионов доступность элементов питания, или же чрезмерное поступление их в растения отрицательно сказывается на его жизнедеятельности, и далее, какие именно процессы в почве и растениях претерпевают изменения. Таким образом, методы абстрагирования и конкретизации весьма тесно взаимосвязаны, взаимно дополняют друг друга и должны использоваться исследователем аналогично таким методам, как анализ и синтез, индукция и дедукция.

Аналогия – метод научного познания, посредством которого знания о неизвестных предметах и явлениях получают на основании того, что они имеют сходство с другими, уже изученными. Например, если известно, что сорт риса Кулон с вегетационным периодом 135 дней на Кубани не созревает, то можно предположить, что все сорта, имеющие такой вегетационный период, не подлежат интродукции*.

Для изучения сложных процессов пользуются методом **моделирования**, в основу которого положен принцип аналогии. Сущность **моделирования** заключается в замене трудно изучаемого предмета или явления специально созданным аналогом, удобной моделью, которую потом исследуют. Для эффективности этих исследований каждая модель должна содержать существенные черты оригинала. Если модель сохраняет физическую природу оригинала, например, модель почвы, растительной клетки, органа, то она является физической. Если модель физически не создается, а ее оригинал лишь описывается соответственными уравнениями, то модель является математической. Например, применяют математическое описание урожайности конкретного сорта плодовых или ягодных культур в зависимости от факторов жизни. Моделированием является также составление схемы опыта, вычерчивание размера и формы деланки, изображение на плане метода размещения вариантов.

* Интродукция – введение культурных видов и сортов растений в места, области, где они раньше не произрастали.

Наряду с общенаучными и математическими методами исследований, в каждой отдельной области науки используют специфические. Основными общенаучными методами агрохимического исследования являются наблюдение и эксперимент, а специфическими – лабораторный, вегетационный, лизиметрический и полевой опыты. Наибольшую значимость имеет полевой опыт. Он завершает поисковое исследование, количественно оценивает агротехнический и экономический эффект предлагаемого агроприема и дает объективные данные для внедрения научного достижения в сельскохозяйственное производство.

12.2.1. Лабораторный эксперимент

Лабораторный эксперимент (опыт) – исследование, осуществляемое в лабораторной обстановке с целью установления действия и взаимодействия факторов на изучаемые объекты. Лабораторные эксперименты проводят в строго контролируемых условиях и устанавливают обычно влияние одного или небольшого числа факторов. Большим преимуществом этого метода является выделение отдельных факторов. К главному недостатку таких исследований относится исключение из влияющих факторов внешней среды, воздействие которой в полевых экспериментах описывается дисперсией E (экологической) или $\sigma_{\text{ошибки}}$. С одной стороны, в лабораторном опыте легче вычленить влияние отдельного фактора, с другой – для рекомендаций производству результаты этих исследований пригодны мало, т. к. не учитывают влияние внешних условий, которое может быть определяющим. Именно поэтому лабораторные эксперименты, проводимые в лабораторных условиях, носят рекогносцировочный характер.

Малая продолжительность лабораторного опыта не позволяет выявить многие закономерности, связанные с физиологией целостной системы организма. Вместе с тем следует отметить, что многие процессы можно изучать исключительно в лабораторном эксперименте. В них изучают трансформацию удобрений и биологическую активность почвы, определяют влияние элементов питания на энергию, скорость и дружность прорастания, а также всхожесть и силу роста семян; изучают поступление воды, макро- и микроэлементов в семена и растения; физиолого-биохимические процессы в прорастающих семенах, рассматривают вопросы методики обработки семян: сроки, концентрации рабочих растворов и продолжительность обработки. В лабораторном опыте процессы и явления изучаются на клеточном, тканевом и органном уровнях. Для проведения лабораторных экспериментов используются удобрения и химически чистые, сухие и хорошо растворимые соли микро- и макроэлементов. Растворы готовят с использованием дистиллированной воды. Лабораторные эксперименты выполняют в чашках Петри на фильтровальной бумаге или в растильнях, на $2/3$ объема наполненных кварцевым песком или почвой. Песок, предназначенный для лабораторных опытов, предварительно просеивают через сито с отверстиями 0,5-0,8 мм и промывают концентрированной соляной кислотой. Кислоту наливают в стеклянные сосуды до половины объема, затем засыпают песок, закрывают сосуды стеклами и оставляют на 2-3 суток, периодически перемешивая стеклянной палочкой. Затем сифоном сливают кислоту и промывают водопроводной водой до полного удаления соляной кислоты (проба на лакмус) и дистиллированной водой – до отсутствия реакции на хлор, которую проводят азотнокислым серебром. Песок высушивают и прокаливают на железных противнях при температуре 400 °С.

12.2.2. Вегетационный опыт

Слово "**вегетационный**" происходит от латинского "vegetatio", что в буквальном смысле означает "произрастание". В научной литературе термин "вегетационный метод исследования" укрепился за опытами с растениями, выращиваемыми в вегетационных домиках, теплицах, оранжереях, климатических камерах, фитотронах и других специальных сооружениях, т. е. вегетационный опыт – исследование, осуществляемое в строго контролируемых условиях с целью установления различий между вариантами эксперимента и количественной оценки действия и взаимодействия изучаемых факторов на урожай растений и его качество. Обязательным условием для вегетационного опыта, в отличие от лабораторного, является *наличие опытного растения*. Сущность вегетационного метода исследования состоит в выращивании растений в вегетационных сосудах, в агрономически обоснованной обстановке, регулируемой экспериментатором.

Вегетационный метод позволяет детально выявлять значение отдельных факторов роста и развития растений, поддерживать в относительно постоянных и более благоприятных границах различные параметры выращивания: в первую очередь, одинаковое обеспечение растений водой, выровненное корневое питание и одинаковые для всех растений условия освещенности и температуры.

Вегетационный метод в опытах с удобрениями дает возможность лучше изучить требования растений к элементам питания, позволяет сравнить эффективность различных форм удобрений, а также изучить физические, физико-химические, агрохимические показатели и биологическую активность почвы. Иначе говоря, с помощью вегетационного метода глубоко вскрываются процессы круговорота веществ в земледелии и увязываются в единый комплекс питание растений, свойства почвы и удобрения. В вегетационном опыте растениям создают оптимальные условия, или оптимальный фон. В результате эффект от удобрений при изучении их действия заметнее, чем в полевых условиях.

Вегетационный метод позволяет моделировать различные условия среды и выявлять лучшие из них для выращиваемых растений. Однако при анализе результатов и переносе выводов на конкретные почвенно-климатические условия необходимо помнить, что в вегетационном опыте не учитываются сложные взаимодействия в системе погода–почва–растение. Именно по этой причине Д.Н. Прянишников писал, что "вегетационный опыт более точный, но менее реальный для непосредственного внедрения его результатов в производство, а полевой опыт – менее точный, но более реальный". Не противопоставляя полевой опыт вегетационному, необходимо отметить, что ряд основополагающих вопросов агрохимии, таких как определение необходимых для растений элементов, выяснение значения симбиоза клубеньковых бактерий с бобовыми культурами в фиксации атмосферного азота, сравнение нитратного и аммонийного питания растений можно успешно разрешить только с помощью вегетационного метода исследования. В практике агрохимических исследований вегетационный и полевой методы взаимно дополняют друг друга. При этом в полевом опыте не только проверяются выявленные в вегетационном эксперименте закономерности, но и, наоборот, некоторые четко не проявляющиеся из-за множества действующих факторов в полевом опыте закономерности уточняются вегетационном опыте.

В агрохимических исследованиях вегетационный эксперимент чаще всего применяется для изучения закономерностей питания, роста и развития расте-

ний в легко управляемых, строго сопоставимых условиях, позволяющих четко выделить действие отдельных факторов или различных их сочетаний. По определению основоположника отечественной агрохимии Д.Н. Прянишникова, задачей вегетационного метода является "вскрытие существа процесса и уяснение значения отдельных факторов, прежде всего учет роли растения, почвы и удобрения в условиях, наиболее благоприятных для выявления этой роли".

Схемы вегетационных опытов обуславливаются задачами, стоящими перед исследователем. Основной принцип построения опыта – требование единственного различия между вариантами. Разработка схемы опыта является весьма важной частью работы; правильно спланированный опыт позволяет получить прямой ответ на изучаемый вопрос.

Для постановки вегетационных опытов наиболее приемлемы сосуды вместимостью от 1 до 50 л. В качестве наполнителя сосудов применяют почву, песок, гравий, воду. В зависимости от наполнителя вегетационные опыты называют почвенной, песчаной, водной или водно-гравийной культурой.

12.2.2.1. Почвенные культуры

Почвенные культуры являются одной из самых распространенных модификаций вегетационного опыта и наиболее близко стоят по условиям выращивания к полевым опытам. Преимущества вегетационного опыта с почвенными культурами по сравнению с полевым опытом заключаются в возможности: 1) достижения путем перемешивания полной однородности почвы во всех сосудах, что позволяет избежать значительного расхождения между повторностями, которые в полевом опыте часто встречаются в связи с пестротой почвенного плодородия; 2) устранить влияние на результаты эксперимента неблагоприятных погодных условий; 3) поддерживать одинаковую влажность почвы во всех вариантах и повторностях опыта.

Проведение вегетационных опытов с почвенной культурой позволяет глубоко изучить естественное и искусственное плодородие почвы, дать сравнительную оценку плодородия разных типов, подтипов и разновидностей почв, изучить эффективность видов и форм удобрений в зависимости от почвенных условий. В то же время, опыты с почвенными культурами, в отличие от полевого опыта, дают лишь качественную оценку изучаемых закономерностей и не позволяют оценить их количественно. Кроме того, ряд вопросов по действию удобрений нельзя решить с помощью вегетационного метода исследований с почвенной культурой. К ним относятся размещение удобрений в севообороте, изучение сочетания удобрения с системой обработки почвы, уходом за растениями и другими агротехническими приемами, которые необходимо изучать только в полевых опытах.

Существует три принципиальных отличия вегетационного опыта с почвенной культурой от полевого в использовании элементов питания. Во-первых, в вегетационном опыте, как правило, используют элементы питания только одного генетического слоя профиля почвы. Во-вторых, выращивание растений в стеклянных домиках, теплицах, климатических камерах и других контролируемых помещениях способствует более интенсивной, чем в полевых опытах, мобилизации элементов питания из почвы. В-третьих, сам процесс мобилизации элементов питания в вегетационном опыте с почвенной культурой отличается от такового в полевых условиях. Полное разрешение вопросов питания растений и удобрения требуют сочетания полевого и вегетационного методов.

Закладку вегетационных опытов с почвенной культурой проводят в такой последовательности: 1) подготовка вегетационных сооружений и сосудов к закладке опытов; 2) тарирование сосудов; 3) подготовка семян, почвы, удобрений; 4) подготовка дренажа, фильтровальной бумаги, марли, стеклянные трубки для полива; 5) набивка сосудов; 6) посев; 7) полив, уход за растениями, фенологические наблюдения и биометрические измерения в течение вегетационного периода; 8) уборка и учет урожая; 9) отбор почвенных и растительных образцов; 10) обработка результатов опыта и составление отчетов.

До закладки эксперимента вегетационные сооружения, предназначенные для его проведения, тщательно очищают от прошлогодних остатков растений и почвы, выносят сосуды, если они были оставлены здесь на зимнее хранение. Все стеллажи вегетационного домика моют и высушивают. После этого их красят светлой краской и нумеруют.

Для вегетационных опытов применяют металлические, стеклянные, гончарные эмалированные и пластмассовые сосуды вместимостью не менее 4 кг воздушно-сухой почвы (рис. 92; Онищенко Л.М., 2005). Сосуды, пригодные для проведения эксперимента, моют внутри и снаружи водопроводной водой и расставляют на просушивание. Металлические сосуды перед набивкой покрывают белой эмалевой или масляной краской, а внутри битумным лаком или вставляют в него полиэтиленовые мешки. Для каждого опыта необходимо подобрать партию одинаковых сосудов.



Рис. 92. Вегетационный опыт с рисом в пластмассовых сосудах.

Сосуды тщательно высушивают, тарируют, проставляют на них лаком или черной краской номера. Тарирование сосудов заключается в подборе по высоте и доведении их до одинаковой массы. Уравновешивают сосуды битым стеклом, галькой, тщательным подбором дренажа. По массе сосуды одного опыта не должны отличаться более чем на 100 г, по высоте и диаметру – более чем на 0,5 см.

Следующая операция – подготовка дренажа. В качестве дренажа чаще используют гальку и битое стекло. Их тщательно очищают от примесей, выдерживая в течение нескольких дней в стеклянных сосудах с одной из кислот – серной, соляной, азотной или двуххромовокислым калием. Затем промывают водопроводной водой до полного удаления кислоты. Ополаскивают дистиллированной водой и высушивают на солнце или в сушильном шкафу.

При постановке вегетационных опытов с почвенной культурой важно уделять внимание почве и ее подготовке. Место взятия почвы должно быть тщательно выбрано в соответствии с задачами исследования. Для набивки вегетационных сосудов используют верхний пахотный горизонт. Почву берут весной перед закладкой вегетационных опытов с такой влажностью, когда она не мажется, а комки ее при растирании легко разрушаются. Количество почвы, необходимое для закладки опытов, определяется с учетом числа сосудов и их вместимости. Почву обычно заготавливают на 30 % больше расчетного количества. Доставленную почву для удаления камней, корней и пожнивных остатков перемешивают и просеивают через грохот с отверстиями 1 см.

Техника набивки вегетационных сосудов почвой требует определенных навыков. Очень важно, чтобы каждую серию сосудов одной схемы набивал один человек, т. к. при этом достигается равномерность уплотнения почвы в сосуде. Первым этапом работы по набивке является определение массы почвы в сосуде, для чего делают пробную набивку и взвешивают почву. В дальнейшем берут навеску почвы, помещают ее в эмалированный таз, вносят необходимые удобрения, перемешивают и высыпают в предварительно подготовленные сосуды с периодическим равномерным уплотнением руками.

Схемы вегетационных опытов, как было уже отмечено, зависят от задач, которые стоят перед исследователем. При разработке схем необходимо выдержать: а) принцип факториальности; б) правильно выбрать контрольный вариант и определить сопутствующие условия эксперимента (фон); в) правильно установить основной уровень (центр эксперимента) и границы варьирования изучаемых факторов.

Принцип факториальности означает такое построение схемы многофакторного опыта, которое предусматривает испытание всех возможных сочетаний изучаемых факторов. Для однофакторного опыта следует так составить схему, чтобы на основании экспериментальных данных можно было в двухмерном пространстве построить график, который будет характеризовать зависимость резульативного признака (y) от вариабельности изучаемого фактора (x) (рис. 93).

Обычно достаточно иметь 6–8 уровней изучаемого фактора (x). При этом важно так установить основной уровень, т.е. ту центральную точку на кривой отклика, чтобы по мере движения к экстремальным значениям опыт охватывал бы лимитирующую, стационарную и ингибирующую области этой кривой.

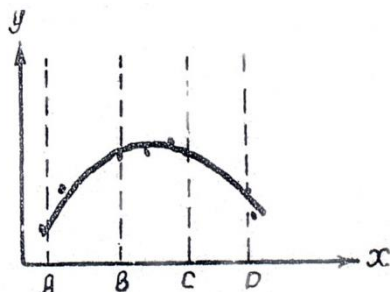


Рис. 93. Типичная форма кривой однофакторной зависимости; АВ – лимитирующая область, ВС – стационарная область, СД – ингибирующая область

В схеме опыта различается, прежде всего, контрольный и испытуемые варианты. Отзывчивость растений на изучаемый фактор устанавливается сравнением растений опытного и контрольного вариантов. Для изучения влияния видов минеральных удобрений на урожайность какой-либо культуры может быть рекомендована восьмивариантная схема Ж. Вилля: 1) 0; 2) N; 3) P; 4) K; 5) NP; 6) NK; 7) PK; 8) NPK или укороченная схема П. Вагнера: 1) 0; 2) NP; 3) NK; 4) PK; 5) NPK.

При изучении влияния форм азотных удобрений схема опыта должна включать все формы на фоне фосфорных и калийных удобрений: 1) 0; 2) PK (фон); 3) фон + N_м; 4) фон + N_{аа}; 5) фон + N_а; 6) фон + N_с.

В опытах с известкованием почвы применяются нормы извести с учетом гидролитической кислотности, определяемой при помощи 1 н раствора CH₃COONa с рН 8,2. Для почв влажных субтропиков норма извести устанавливается по обменной кислотности, определяемой в вытяжках 1н раствора KCl, имеющего рН 5,5–6,0.

Полученную величину кислотности в ммоль-эк/кг почвы для пересчета в граммы CaCO₃ на 1 кг почвы делят на коэффициент 20. Нормы извести выбираются достаточно отличающимися одна от другой.

Известковые удобрения могут испытываться как на почве без удобрений, так и на фоне N, P, K или NPK. Примерная схема опыта:

- 1) 0;
- 2) CaCO₃ по 0,25 кислотности;
- 3) CaCO₃ по 0,50 кислотности;
- 4) CaCO₃ по 1,0 кислотности;
- 5) NPK;
- 6) NPK + 0,25 CaCO₃;
- 7) NPK + 0,50 CaCO₃;
- 8) NPK + 1,0 CaCO₃;
- 9–12) повторение вариантов 5–8 с фоном PK;
- 13–16) повторение вариантов 5–8 с фоном NK;
- 17–20) повторение вариантов 5–8 с фоном NP.

Изучение отзывчивости культурных растений на внесение различных видов микроэлементов в вегетационном опыте с почвенной культурой целесообразно проводить по следующим схемам:

Обработка семян:

Контроль – вода

B 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Co 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Mn 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 %

Cu 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Mo 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Zn 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 %

Некорневая подкормка вегетирующих растений

Контроль – вода

B 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Co 0,005 – 0,01 – 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Mn 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Cu 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Mo 0,005 – 0,01 – 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Zn 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Внесение в почву:

1. Контроль (без микроэлементов)
2. В 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 мг/кг
3. Со 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 мг/кг
4. Mn 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 – 20 мг/кг
5. Cu 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 мг/кг
6. Mo 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 мг/кг
7. Zn 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 мг/кг

В качестве удобрений используют промышленные азотные, фосфорные и калийные туки. Если же проводятся опыты по определению обеспеченности почвы питательными элементами или опыты, где N, P, K служат фоном, целесообразно применять чистые соли, т. к. они не содержат балластных элементов. Они используются и в опытах по изучению эффективности разных форм удобрений. Чистые соли, используемые в вегетационных опытах, должны по возможности содержать только ионы, поглощаемые растениями в качестве элементов питания: NH_4NO_3 , KNO_3 , KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. В тех случаях, когда N, P, K вносят в качестве фона, желательно, чтобы они минимально влияли на реакцию почвенного раствора и его концентрацию. В опытах на кислых почвах (подзолистые, красноземы) в качестве азотного удобрения можно рекомендовать NH_4NO_3 или $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, а также смесь, состоящую на 2/3 из NH_4NO_3 и на 1/3 из $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. В качестве двойного азотно-калийного удобрения лучше вносить KNO_3 , добавляя недостающее количество азота в виде азотнокислого аммония.

Для фосфорно-калийного фона можно вносить KH_2PO_4 и K_2HPO_4 , а на черноземах азотно-фосфорный фон создается внесением NH_4NO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

В вегетационных опытах принято вносить удобрения в средних нормах: 0,35–0,75 г N; 0,3–0,5 P_2O_5 и 0,3–0,5 г K_2O на сосуд вместимостью 5–8 кг почвы. Они значительно выше средних норм удобрений, применяемых в полевых условиях. Нормы можно рассчитать также исходя из массы почвы в сосуде. Так, в опытах с зерновыми культурами на 1 кг почвы вносят 0,15 г N; 0,1 г P_2O_5 ; 0,1 г K_2O (табл. 227; Журбицкий З.И., 1968). Если почва богата калием, например в черноземах, норма его снижается в 2–3 раза.

Таблица 227 – Нормы удобрений в вегетационных опытах с почвенными культурами, г/кг почвы

Культуры	N	P_2O_5	K_2O
Зерновые	0,15	0,10	0,10
Бобовые	0,04–0,10	0,10–0,15	0,10–0,15
Картофель	0,12	0,20	0,28
Сахарная свекла	0,15	0,22	0,22
Хлопчатник	0,24	0,36	0,06–0,09
Табак	0,20–0,30	0,10–0,20	0,20–0,30
Овощные	0,10–0,20	0,10–0,25	0,15–0,30

Приведенные в таблице 227 нормы удобрений можно считать средними, поэтому в схему необходимо вводить более высокие и более низкие нормы. Если в качестве источников N, P и K используются промышленные удобрения, то их норма рассчитывается на основании содержания в них питательных веществ. Водорастворимые удобрения можно вносить в виде растворов.

Навески сухих удобрений берут не раньше 1–2 дней до набивки сосудов в пакетики из пергаментной бумаги, на них указывают вариант схемы, вид и форму удобрения, массу в граммах. Число отвешенных пакетиков с удобрениями должно соответствовать числу сосудов с удобряемой почвой. Если же удобрения вносят в растворе, то брать навески в пакеты нет необходимости. В лаборатории взвешивают одну общую навеску, по массе равную сумме однозначных вариантов, и растворяют в небольшом объеме воды. Удобно иметь растворы, содержащие в 100 мл раствора 1 г данного питательного вещества. При оптимальной влажности тяжелосуглинистых и глинистых почв на один сосуд бывает достаточно 30–50 мл раствора удобрения, для песчаных и супесчаных – 15–20 мл. Навески с азотными и калийными удобрениями могут быть растворены в одном объеме воды и внесены в один прием. В почву без удобрений вносят дистиллированную воду, равную по объему вносимому раствору удобрений в изучаемых вариантах. Для расчета нормы питательного элемента удобно пользоваться таблицей 228 (Кузнецов А.В., 1977)..

Таблица 228 – Навески солей, содержащие 1 г питательного вещества

Соли	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NH ₄ NO ₃	2,86	–	–
(NH ₄) ₂ SO ₄	4,72	–	–
NaNO ₃	6,07	–	–
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	8,44	–	–
KNO ₃	7,22	–	2,15
K ₂ SO ₄	–	–	1,85
KCl	–	–	1,58
NH ₄ H ₂ PO ₄	8,21	1,62	–
(NH ₄) ₂ HPO ₄	4,72	1,87	–
KH ₂ PO ₄	–	1,92	2,89
K ₂ HPO ₄	–	2,46	3,70
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	–	1,78	–

В качестве источника магния в вегетационных опытах применяется MgSO₄·7H₂O, содержащая 16,4 % MgO; источником серы является Na₂SO₄ или CaSO₄. Микроэлементы употребляются чаще всего в виде чистых солей MnSO₄·5H₂O (22,8 % Mn), ZnSO₄·7H₂O (22,8 % Zn), CuSO₄·5H₂O (25,5 % Cu), CoSO₄·7H₂O (21,0 % Co), (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O (54,3 % Mo) и H₃BO₃ (17,5 % B).

Нормы удобрений в вегетационных опытах с почвенными культурами (Н, мг/кг) можно определить исходя из норм удобрений, рекомендованных для полевых опытов. Пересчет производят по формуле:

$$H = \frac{Д}{10 \cdot П \cdot h \cdot \rho},$$

где: Д – норма элемента минерального питания, вносимого в почву в полевых условиях, кг/га;
 П – содержание действующего вещества в удобрении, %;
 h – средняя толщина удобряемого в полевых условиях слоя почвы, см;
 ρ – плотность почвы, г/см³;
 10 – постоянная величина, полученная при выведении формулы.

В вегетационных опытах растения имеют лучшие условия освещения и снабжения углекислотой из атмосферы, не испытывают конкуренции со сто-

роны сорняков, т.е. находятся в условиях более интенсивного вовлечения питательных элементов в обмен веществ. Поэтому в вегетационных опытах нормы удобрения выше применяемых в полевых условиях.

Набивать сосуды начинают с контрольных вариантов, т.е. с тех, в которые не вносят удобрения. Если варианты отличаются видами, формами, нормами удобрений, то, приступая к набивке новой серии сосудов, следует тщательно очищать тазик и мыть руки. Перемешивание почвы с удобрениями надо проводить в течение 3–5 мин. Чем тяжелее почва по гранулометрическому составу, тем продолжительнее перемешивание.

Семена для посева могут быть сухими, намоченными или проросшими, но чистыми в сортовом отношении. Перед посевом поверхность почвы в сосудах выравнивают, при необходимости слегка увлажняют, специальным шаблоном намечают гнезда, в которые кладут семена. Заделка семян производится предварительно выбранной из сосуда почвой. После этого поверхность почвы засыпают песком из расчета 200 г на сосуд.

Зерновые и бобовые культуры высевают пророщенными семенами на глубину 1,5–2,0 см, мелкосемянные (многолетние бобовые, злаковые) – на глубину 0,5 см. После посева сосуды закрывают листами бумаги, а если они остаются под открытым небом, дополнительно полиэтиленовой пленкой, чтобы избежать промачивания дождями. Листы бумаги и пленку снимают после появления первых всходов. В сосуде диаметром 15–20 см оставляют: 20–25 растений клевера, люцерны; 15–20 – зерновых; 10–15 – гороха, люпина, 3–5 – редиса, огурца, 1 – картофеля. Количество семян, высеваемое в сосуд, должно быть на 5–10 шт. больше оставляемого числа растений. Через 2–3 дня после появления всходов, когда они окрепнут, лишние удаляют пинцетом и оставляют в каждом сосуде одинаковое число растений. Если задачей опыта, а значит, и схемой предусмотрено внесение удобрений в период вегетации, то их применяют в виде жидкой подкормки.

Достоверные данные для злаковых культур и льна можно получить при 3-кратной, для бобовых и масличных культур – 4–5-кратной, а для корне- и клубнеплодов – 5–6-кратной повторности опыта.

Для предохранения растений от полегания и поломки в сосуды вставляют проволочные каркасы или тонкие рейки. Высота каркаса из реек для зерновых, зернобобовых, многолетних трав 40–50 см, по четыре штуки на сосуд. Между ними натягивают нитки, которые создают опору лежащим растениям.

Уход за растениями в вегетационном опыте включает полив, удаление сорняков и проведение подкормок, если это запланировано программой исследований. Для полива используют дистиллированную или водопроводную воду, которую набирают накануне в бочки и другие емкости, чтобы не поливать растения слишком холодной водой. Полив сосудов проводят до оптимальной влажности почвы. Для большинства культур это 60–70 % от полной влагоемкости. Для расчета необходимой массы воды при набивке сосудов определяют полную влагоемкость и влажность почвы.

При проведении опытов с картофелем, томатом, подсолнечником, кукурузой, у которых образуется большая вегетативная масса, при поливе делают поправку на массу самих растений. Для выравнивания условий освещения и нагревания сосудов при поливе проводят перестановку их местами: средние выставляют на края, а крайние ставят в середину. Для удобства наблюдений сосуды следует размещать с учетом повторностей вариантов, желательно, чтобы в одном ряду находились все сосуды одного варианта. В сухие солнеч-

ные дни вагонетки с сосудами нужно выкатывать из вегетационного домика на открытую площадку. Во избежание повреждения растений птицами площадка должна быть ограждена со всех сторон сеткой.

При появлении болезней и вредителей обработку растений пестицидами проводят одновременно во всех сосудах, включая и те сосуды, в которых повреждения не обнаружены.

В течение вегетации за растениями ведутся наблюдения, результаты которых записывают в рабочую тетрадь. Для каждого сосуда в отдельности отмечают даты наступления фаз вегетации и морфологические изменения растений. Параллельно определяют агрохимические показатели и биологическую активность почвы. Учет урожая проводят при созревании растений.

12.2.2.2. Песчаные культуры

Почва как среда мало пригодна для создания строго контролируемых условий питания растений. Для этих целей более приемлема песчаная культура. Ее широко используют для: 1) выявления действия отдельных элементов питания на обмен веществ, рост и развитие растений; 2) изучения различных факторов жизни растений, установления антагонизма и синергизма между элементами питания; 3) изучения взаимодействия между корневой системой и питательными веществами; 4) определения поступления и накопления питательных элементов в растения.

Усвоение растениями питательных элементов из удобрений в почвенной и песчаной культурах существенно различается, что обусловлено различным распределением питательных веществ в почве и песке. В песчаных культурах складываются более благоприятные условия использования растениями питательных веществ: они равномерно распределяются по всему объему сосуда, теснее соприкасаются с корневой системой растений и не вступают в обменную реакцию с песком.

Неравномерное распределение удобрений в почвенной культуре, химическое, биологическое и физико-химическое поглощения затрудняют поступление питательных веществ, поэтому коэффициенты использования их растениями из удобрений в песчаной культуре выше, чем в почвенной. Следовательно, основное отличие песчаных культур от почвенных заключается в равномерном распределении питательных элементов, слабой абсорбционной способности и незначительной химической активности субстрата. К различиям следует отнести и тот факт, что при постановке опытов с песчаной культурой нет и не может быть чистого варианта без удобрений, ибо в отличие от почвенной культуры растения в нулевом варианте не развиваются и гибнут из-за недостатка элементов питания не завершив свой жизненный цикл.

Субстратом в песчаной культуре служит мелкий кварцевый или белый речной песок, отмытый от органических илистых примесей. Он должен обладать хорошими физическими свойствами, позволяющими корням растений расти как в почве. Для этого песок должен иметь размер частиц от 0,2 до 0,4 мм в диаметре. Он должен быть свободным от посторонних примесей.

Химический состав кварцевого песка в значительной степени зависит от его месторождения (табл. 229; Кузнецов А.В., 1977). Независимо от происхождения, в песке преобладает оксид кремния. Содержание оксида железа не превышает 1 %, а оксида алюминия 1–5 %. В небольшом количестве присутствуют оксиды калия, кальция, магния и фосфора. Перед закладкой опыта песок сначала промывается водопроводной водой для удаления органических остатков и

мельчайших частиц. Затем вода сливается из сосудов, а поверх песка наливается соляная кислота. Сосуды покрываются стеклами и оставляются в специальном помещении – вегетационном домике. Ежедневно песок перемешивается деревянными палочками. Через неделю песок отмывают от кислоты сначала водопроводной водой, а затем дистиллированной до тех пор, пока вытекающая вода не будет давать отрицательную реакцию на хлор-ион с AgNO_3 .

Таблица 229 – Химический состав кварцевого песка

Вид песка	Содержание, % на прокаленную навеску						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5
Флювиогляциальный	92,44	4,16	0,17	0,72	0,23	1,52	0,02
Озерно-аллювиальный	94,19	2,88	0,71	0,71	0,19	0,87	0,04
Аллювиальный	96,43	1,67	0,54	0,38	0,24	0,51	0,02

Затем песок раскладывается тонким слоем на тележки и сушится на воздухе. Высушенный песок дважды просеивается через сито: вначале с отверстиями 1 мм для удаления крупных минералов, а затем – 0,25 мм. Песок с размером частиц менее 0,25 мм для вегетационных опытов обычно не употребляется. В некоторых случаях песок не обрабатывают соляной кислотой, а ограничиваются лишь промывкой его водой и просеиванием через сито 0,25 мм.

Сосуды для вегетационных опытов с песчаной культурой берут, как правило, менее высокие, чем для почвенных культур, так как капиллярное поднятие воды в песке слабее, чем в почве.

Равномерная влажность песка отмечается только в 20–25 см слое. При большей высоте сосудов в верхних слоях влажность всегда меньше, чем в нижних. Для устранения этого недостатка и увеличения водоудерживающей способности песка необходимо добавить к нему мелко растолченное стекло, порошкообразный сернокислый барий или другие индифферентные вещества.

При проведении вегетационных опытов в песчаных культурах для обеспечения нормального роста и развития растений предполагается внесение в сосуды питательных смесей* к которым предъявляются следующие требования:

- питательная смесь должна включать все необходимые растению элементы в количестве и соотношении, обеспечивающих наиболее полную реализацию потенциальной продуктивности растений;
- соли, входящие в универсальную питательную смесь, должны быть даны в усвояемой для растений форме;
- реакция среды должна быть оптимальной или близкой к оптимальной в течение всего периода вегетации растений.

Полный перечень питательных смесей привести невозможно из-за их обилия и непрерывного появления новых. Главные отличия между типами питательных смесей состоят в выборе источника азота или фосфора, которые образуют сопряженную пару, компоненты которой должны уравновешивать друг друга по влиянию на реакцию раствора. Наибольшее влияние на изменение рН оказывают соединения азота, так как азот потребляется растением в

* Питательная смесь – сочетание солей, применяемых для выращивания растений в условиях водных и песчаных культур.

большем количестве, чем другие компоненты питательной среды. Различают три типа смесей с различными сопряженными парами: 1) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и KH_2PO_4 2) KNO_3 и $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ 3) NH_4NO_3 и CaHPO_4 или $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Первый тип питательных смесей характеризуется тем, что химически кислой соли KH_2PO_4 противопоставляется физиологически щелочная соль $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. При выращивании растений на этих питательных смесях, как правило, pH смещается в щелочную сторону. Используются легкорастворимые соли. К этому типу принадлежат большинство питательных смесей, используемых в агрохимии и физиологии растений. Примером являются питательные смеси Гельригеля, Кнопа, Хоглэнда.

Второй тип питательных смесей содержит азот в форме KNO_3 – слабо физиологически щелочной соли. Источник фосфора – труднорастворимая соль $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, способная к гидролитическому расщеплению. При этом образуется гидроксид железа – слабое основание и H_3PO_4 – сильная кислота. Поэтому уменьшается подщелачивание раствора, вызванное физиологической щелочностью нитрата калия. Примером питательной смеси рассматриваемого типа является среда Крона. Характерная особенность данной смеси – наличие труднорастворимых соединений $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и CaSO_4 . В осадке находятся соли, в растворе – ионы Ca^{2+} , Fe^{2+} и PO_4 в очень низкой концентрации. По мере поглощения растением этих ионов в раствор, из осадка постепенно переходят новые порции элементов питания. Таким образом, концентрация их в растворе удерживается на довольно низком, но постоянном уровне. В некоторой степени эта смесь имитирует условия питания растений в почве, т.к. в почвенном растворе многие питательные вещества находятся в очень низкой концентрации и так же по мере поглощения их корнями пополняются за счет растворения труднорастворимых соединений.

Третий тип питательных смесей разработан Д.Н. Прянишниковым и его учениками. В основе их лежит смесь Гельригеля, в которой азот представлен солью NH_4NO_3 , фосфор – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При составлении этих питательных смесей учитывались следующие свойства компонентов: 1) буферность фосфата кальция; 2) гидролитическая кислотность $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; 3) физиологическая кислотность NH_4NO_3 и физиологическая щелочность KNO_3 . Следовательно, для смесей данного типа характерно присутствие как легкорастворимых, так и труднорастворимых соединений. Примером питательной среды данного типа являются смеси Прянишникова и Цинцадзе.

Приводим наиболее распространенные универсальные питательные среды для выращивания высших растений:

Среда Гельригеля: 0,492 г/кг песка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ безводный или 0,708 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,025 – $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,075 – KCl ; 0,136 – KH_2PO_4 ; 0,06 – MgSO_4 безводный или 0,123 г/кг песка $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Среда Гильтнера: 0,0368 г/л (г/кг песка) KNO_3 ; 0,0512 – NaNO_3 ; 0,25 – $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; 0,25 – $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,064 – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 0,25 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,25 г/л (г/кг песка) KCl ; 3 капли 5 %-ый раствор FeCl_3 .

Среда Кнопа: 1,00 г/л $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ безводный или 1,44 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,25 – KNO_3 ; 0,12 – KCl ; 0,25 – KH_2PO_4 ; 0,25 – MgSO_4 безводный или 0,51 г/л $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1 капля 5 %-ый раствор FeCl_3 .

Среда Кроне: 0,25 г/кг песка $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 0,25 – $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 1,00 – KNO_3 ; 0,50 – $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,50 г/кг песка $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Среда Коссовича: 0,085 г/кг песка NaNO_3 ; 0,0383 – KH_2PO_4 ; 0,02 – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,02 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,02 г/кг песка KCl .

Среда Митчерлиха: 0,80 г/кг песка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ безводный или 1,15 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,30 – KNO_3 ; 0,08 – NH_4NO_3 ; 0,20 – NaCl ; 0,17 – KH_2PO_4 ; 0,20 г/кг песка $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Среда Прянишниковая: 0,240 г/кг песка NH_4NO_3 ; 0,172 – CaHPO_4 ; 0,025 – $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,344 – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,06 – MgSO_4 безводный или 0,123 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,160 г/кг песка KCl .

Среда Пфедффера: 1,33 г/кг песка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ безводный или 1,92 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,33 – KNO_3 ; 0,16 – KCl ; 0,33 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,33 г/кг песка KH_2PO_4 ; 1 капля 5 %-ый раствор FeCl_3 .

Среда Ольсена: 149 мг/л KNO_3 ; 168 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 23 – KH_2PO_4 ; 101 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,4 – $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,4 – H_3BO_3 ; 0,2 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,1 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,05 мг/л $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$; 5 капель 1 %-ый раствор лимоннокисло-го железа.

Среда Гейслера: 160 мг/л NH_4NO_3 ; 1000 – KNO_3 ; 750 – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4$; 500 – MgSO_4 безводный; 15 – $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Fe}$; 2 – $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 1 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 3,3 – H_3BO_3 ; 0,05 мг/л $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$.

Среда Цинцадзе: 0,334 г/л NH_4NO_3 ; 0,166 – KNO_3 ; 0,614 – KCl ; 0,70 – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 0,25 – MgSO_4 безводный; 0,25 – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; 0,50 г/л $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Среда Чирикова: 1,000 г/кг песка KNO_3 ; 0,464 – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 0,310 – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; 0,500 – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,500 г/кг песка MgSO_4 безводный.

Питательные среды для выращивания отдельных культур:

Среда Белоусова (сахарная свекла): 1,11 г/кг песка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 0,36 – KH_2PO_4 ; 0,43 – K_2HPO_4 ; 0,10 – NaCl ; 0,054 – MgSO_4 ; 0,01 – $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,005 – H_3BO_3 ; 0,005 г/кг песка MnSO_4 .

Среда Ягодина (гречиха): 343 мг/л (мг/кг песка) NH_4NO_3 ; 263 – KH_2PO_4 ; 166 – K_2SO_4 ; 40 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; 716 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2,86 – H_3BO_3 ; 0,197 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,44 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2,63 – $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,095 – $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,077 – $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 500,5 – CaCO_3 ; 55,5 мг/л (мг/кг песка) CaCO_3 (дополнительно, через 20 дней).

Среда Прянишниковая в модификации Шеуджена (рис): 0,48 г/кг песка NH_4NO_3 ; 0,344 – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,50 – KCl ; 0,37 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,688 – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,775 г/кг песка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 14,52 мг/кг песка $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 10,12 – $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 7,65 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 2,26 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 6,34 – H_3BO_3 ; 0,204 – $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,120 мг/кг песка $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Среда Цинцадзе в модификации Шеуджена (рис): 334 мг/л NH_4NO_3 ; 166 – KNO_3 ; 614 – KCl ; 700 – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 250 – MgSO_4 безводный; 250 – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; 500 – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,120 – $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,204 – $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 6,340 – H_3BO_3 ; 2,260 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 7,65 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 10,125 – $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 20,238 – $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; 0,500 – LiCl ; 0,100 – H_2SeO_4 ; 0,150 – VCl_3 ; 0,510 мг/л KI .

Среда Кнопа в модификации Треймана (пшеница): 2,04 г/л (г/кг песка) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,431 – KNO_3 ; 0,25 – KH_2PO_4 ; 0,12 – KCl ; 0,51 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 19,36 мг/л (мг/кг песка) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 26,3 – $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 13,2 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,96 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 8,58 – H_3PO_3 ; 0,126 – $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,238 мг/л (мг/кг песка) $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Среда Холлэнда в модификации Треймана (пшеница): 1,38 г/л (г/кг песка) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,78 – KNO_3 ; 0,23 – $\text{NH}_4(\text{H}_2\text{PO}_4)$; 0,51 г/л (г/кг песка) $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 19,36 мг/л (мг/кг песка) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 26,3 – $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 13,2 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,96 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 8,58 – H_3BO_3 ; 0,126 – $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,238 – $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Среда Прянишниковая в модификации Треймана (пшеница): 0,480 г/кг песка NH_4NO_3 ; 0,344 – $\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,570 – KCl ; 0,49 – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,688

– $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 1,11 – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 14,52 мг/кг песка $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 8,78 – $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 6,60 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,180 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 8,580 – H_3BO_3 ; 0,075 – $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,143 мг/кг песка $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Растворы микроэлементов для универсальных питательных смесей:

Раствор Браунора–Букача: 350 мг/л $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 500 – H_3BO_3 ; 50 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 50 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 50 – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; 50 – $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 50 – $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$; 50 – TiO_2 ; 25 – LiCl ; 25 – KBr ; 25 – KJ ; 25 мг/л $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Добавляют по 1 мл этого раствора к каждому литру питательного раствора.

Раствор Бергло в модификации Готре: 50 г/л $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; 2,0 – MnSO_4 ; 0,5 – KCl ; 50 – NiCl_2 ; 50 – CoCl_2 ; 200 – TiSO_4 ; 100 – ZnSO_4 ; 50 – CuSO_4 ; 100 – BeSO_4 ; 50 – H_3BO_3 ; 50 г/л H_2SO_4 . К питательному раствору добавляют одну каплю этого раствора.

Раствор Хоглэнда и Снайдера (Раствор А-Z): готовятся два раствора А и В смесей микроэлементов. На 1 л питательного раствора вносится по 1 мл каждого из этих растворов. Для приготовления раствора А на 18 л берутся следующие количества солей: 1,0 г $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; 0,5 – KJ ; 0,5 – KBr ; 1,0 – TiO_2 ; 0,5 – $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,5 – LiCl_2 ; 7,0 – $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 11,0 – H_3BO_3 ; 1,0 – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,0 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 1,0 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 1,0 г $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. При приготовлении раствора В на 18 л вносят: 0,1 г As_2O_3 ; 0,5 – BaCl_2 ; 1,0 – CdCl_2 ; 0,1 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$; 0,1 – Rb_2SO_4 ; 0,5 – $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$; 0,5 – SrSO_4 ; 0,1 – VCl_3 ; 0,1 – KF ; 0,1 – PbCl_2 ; 0,1 – HgCl_2 ; 0,425 – MoO_2 ; 0,1 г H_2SeO_4 .

При подборе серии сосудов для той или иной схемы песчаных культур необходимо стремиться, чтобы они были примерно одинаковой вместимости и массы. Вместимость сосудов, следует определять по количеству вмещающейся в них воды. Допускается 1–2 % расхождения между крайними величинами той или иной серии сосудов как по их объему, так и по массе. Чтобы установить одинаковую массу, сосуды тарируют битым стеклом. В наиболее тяжелый сосуд из отобранных для данного опыта помещают 200–300 г предварительно вымытого и высушенного битого стекла. После этого сосуды доводят до одной массы добавлением кусочков стекла. Дренажное стекло сдвигают к стенке горкой, так чтобы оно занимало не более 2/3 площади дна сосуда, а затем накрывают кружком марли. В марле делают отверстие, куда вставляют трубку для полива. Трубку ставят в горку дренажа, а марлю расправляют так, чтобы она закрывала дренажное стекло и часть свободного дна сосуда (рис. 94; Шестаков А.Г., 1954).

Питательную смесь вносят из расчета на 1 кг песка. Состав смесей определяется биологическими особенностями опытных растений и задачей исследования. Все растворимые в воде соли вносятся в песчаные культуры в виде растворов. Нерастворимые – в виде растертых в порошок навесок.

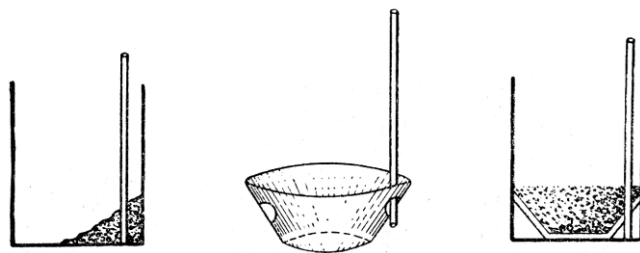


Рис. 94. Дренаж в вегетационных сосудах

На полиэтиленовую пленку или в таз высыпают отмеренное количество песка, добавляют элементы питания, тщательно перемешивают, увлажняют до 60 % от ППВ и помещают все в приготовленный сосуд. Полная влагоемкость должна быть определена заранее. Речной песок с размером частиц 0,5–0,7 мм имеет влагоемкость 25 %. На 1 кг сухого песка берут 150 мл воды, что составляет 60 % полной влагоемкости, объем растворов питательной смеси должен входить в объем рассчитанной воды. Набивается сосуд песком плотно, поверхность песка не должна на 2–4 см доходить до краев сосуда. После набивки на стенку сосуда наклеивается соответствующая этикетка. Сосуд ставится на свое место и покрывается листом картона.

Посев в песчаных культурах производится как пророщенными, так и сухими семенами. Перед посевом семян поверхность песка в сосудах выравнивается, увлажняется, шаблонами делаются лунки для семян. Число и глубина лунок зависят от размера семян и количества оставляемых в сосуде растений. Обычно семян высаживается в 1,5–2 раза больше, чем оставляется после прореживания. После посева сосуды покрываются картоном или ставятся в затененное место до появления всходов. Сосуды ежедневно утром и вечером поливаются из расчета 50–100 мл воды. После появления всходов сосуды выставляются в открытое место и снимается с их поверхности картон. Иногда случается, что число взошедших семян в сосуде меньше того количества, которое намечено оставить после прореживания. В таких случаях необходимо производить подсадку растений. Растения для подсадки должны быть такого же возраста и развития, что и произрастающие в сосуде. Лучше всего для этих целей закладывать опыт с дополнительной повторностью.

На 5–6 день после появления всходов сосуды взвешивают, растения поливают водой, при этом количество воды не должен превышать 15 % от массы песка. В период интенсивного роста растений полив проводится два раза в сутки и влажность песка поддерживается на уровне 16–17 % от массы песка, что соответствует 70 % от полной влагоемкости песка.

К удалению из сосуда лишних растений следует приступить в тот момент, когда они прекращают использовать запасные вещества семени и начинают поглощать элементы питания из питательной среды. У зерновых культур это совпадает с началом появления 4 листа. В сосудах оставляют одинаковое число растений, равномерно распределенных по поверхности сосуда. Количество растений, оставляемых в сосуде после прореживания, зависит от величины сосуда и опытной культуры. На сосуд диаметром 25 см оставляют овса, пшеницы и ячменя по 20–25 растений, гречихи, риса и гороха – по 10–15 растений, льна, клевера и других трав – по 35–40 растений. Такие растения, как картофель, сахарная свекла, кукуруза, виноград, хлопчатник и некоторые другие выращиваются в сосудах большего размера, после прореживания их оставляют по одному растению на сосуд, как и в почвенных культурах.

Во время прореживания на сосуды с растениями, имеющими высокий стебель, надевают каркасы для их поддержания в вертикальном положении.

Чтобы сосуды получали одинаковое количество света и тепла, их при поливе ежедневно меняют местами. С момента появления всходов проводят наблюдения за растениями: измеряют высоту растений, подсчитывают количество образовавшихся листьев, отмечают начало и конец каждой фазы развития растений.

За 3–5 дней до уборки урожая полив вегетационных сосудов прекращается. Если растения в разных сосудах созревают в разное время, то уборка их производится тоже в разное время.

Урожай убирают путем срезания стеблей ножницами на расстоянии 1–2 см от поверхности. Корни освобождают от песка путем отмывания их на сите водой. Надземные и подземные части растений сушат, взвешивают и проводят соответствующие анализы на содержание химических элементов.

12.2.2.3. Водные культуры

Водные культуры – метод выращивания растений на жидкой питательной среде в научных и производственных целях. Задача водных культур в агрохимических исследованиях заключается в выяснении необходимых для жизнедеятельности растительного организма элементов; в установлении роли отдельных элементов для роста и развития растений, физиолого-биохимических процессов поглощения элементов питания, изучении периодов в жизни растения, в которые оно особенно нуждается в наличии того или иного элемента питания для реализации своей потенциальной продуктивности; в выяснении влияния разных элементов друг на друга при поступлении их в корни и превращении в органические соединения.

Опыты в водных культурах проводят в стеклянных или пластмассовых сосудах вместимостью 3–8 л. В опытах с зерновыми, зернобобовыми, масличными культурами и травами используют 3- и 5-литровые сосуды, а с хлопчатником, сахарной свеклой, табаком и брюквой – 6–8-литровые. Для укрепления растений на питательном растворе сосуды сверху покрываются специально подогнанными деревянными кружками толщиной 2 см. При этом диаметр нижней части кружка должен быть равен диаметру внутренней стенки сосуда, а диаметр верхней части шире, на толщину его стенки. В зависимости от числа растений в каждом кружке высверливаются отверстия. Диаметр отверстий зависит от вида растений и колеблется от 1,5 см до 5–10 см. Кроме отверстий для посадки растений в кружке делают еще 2–3 отверстия диаметром 1 см: одно – для продувания питательного раствора, другие – для укрепления каркаса. В отверстие для продувания питательного раствора вставляется стеклянная трубка, изогнутая над кружком под углом 100–120° и не достигающая до дна сосуда на 2–3 см.

Одним из наиболее удобных является укрепление растений при помощи широких цилиндров с сетчатым дном, наполненных гравием или гранулированным полиэтиленом (рис. 95; Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М., 1973). Такие цилиндры изготавливают, как правило, из пластмассы или других нержавеющих материалов, а сетчатое дно – из редкой капроновой ткани. При необходимости, их стенки покрывают чистым расплавленным парафином.

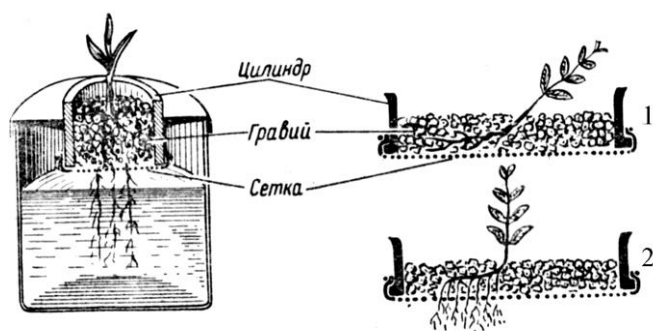


Рис. 95. Выращивание растений в водной культуре
1 – в момент посадки; 2 – после укоренения

Подготовка сосудов. В соответствии со схемой и принятым числом повторений берут необходимое количество сосудов одинакового объема. К каждому из них подбирают хорошо пригнанные крышки с соответствующим количеством отверстий для растений. Подобранные сосуды тщательно вымывают, а пробки очищают от загрязнений и покрывают парафином, опуская их в расплавленный парафин. Для предотвращения перегрева растений и развития водорослей на свету, на сосуды надевают футляры. Для этих целей чаще используют хлопчатобумажные материалы: белые для наружной и черные для внутренней стороны. Вверху стенки футляров стягиваются тесемкой. Сосуд должен свободно входить в футляр, чтобы во время выращивания растений можно было визуально наблюдать за формированием корневой системы. Сосуды при закладке опыта наполняют на 3/4 объема дистиллированной водой. Затем пипеткой или мерным цилиндром, согласно схеме опыта, вносят необходимое количество питательной смеси, доводят дистиллированной водой до метки на 1 см ниже уровня сосуда, тщательно перемешивают и закрывают крышками.

Питательные смеси. Концентрация солей в питательном растворе сильно влияет на интенсивность поглощения элементов растениями. С повышением концентрации затрудняется поглощение растениями воды, но усиливается поступление в корни элементов питания и изменяются антагонистические и синергические взаимодействия между ними. К тому же отдельные виды растений различно относятся к концентрации солей в питательном растворе.

При выращивании растений методом водных культур важное значение имеет реакция питательного раствора. Она должна поддерживаться в пределах рН 5,5–6,5. Наилучший рост и развитие растений происходят при дифференцированном составе питательных смесей не только для отдельных растений, но и для отдельных фаз развития каждого растения. Это содействует полному удовлетворению меняющихся потребностей растений и способствует повышению урожая.

В водных культурах можно использовать питательные смеси, рекомендованные для песчаных культур. Однако, для выращивания большинства сельскохозяйственных растений методом водных культур лучше подходят питательные среды Кнопа, Ольсена, Гейслера и Цинцадзе и их различные модификации. При выборе питательной смеси экспериментатор, решая свои задачи, вправе изменять их, испытывать иные формы и соотношения элементов.

В агрохимических исследованиях с водными культурами широко применяется питательная *среда Кнопа*. Исходное значение рН этой смеси около 5,7. В результате питания растений смесь подщелачивается рН до 7,2. Содержание фосфора и калия в смеси Кнопа почти одинаково, а азота в ней в 2,5 раза больше. Эта смесь рекомендуется преимущественно для опытов с зерновыми культурами.

Смесь Цинцадзе включает азот в аммонийной и нитратной форме, а источником фосфора в ней служит фосфат кальция. Замена нитратного азота на аммонийно-нитратный сильно влияет на динамику изменения реакции питательного раствора при выращивании всех растений. В смеси Цинцадзе отмечается некоторое преобладание фосфора над азотом и калием. Она богата кальцием и серой. Кислотность смеси в процессе питания растений изменяется незначительно: в начале опыта рН равно 5,6, в конце – 5,7. Смесь Цинцадзе рекомендуется применять для выращивания зерновых, зернобобовых культур, гречихи и сои.

В смесь *Гейслера и Ольсена* кроме макроэлементов включаются микроэлементы, а железо вносится в виде лимоннокислой соли. Эти смеси рекомендуются для выращивания растений в гидропонике.

Питательные растворы готовят так же, как и в песчаных культурах; вносят их в соответствии со схемой опыта из расчета на 1 л воды.

Подготовка растений к посадке. В вегетационных опытах с водной культурой растения высаживают в виде проростков. Существует несколько способов подготовки растений к посадке описанных ниже:

Метод А.В. Кузнецова (1977) и Ю.П. Жукова (1987). Семена растений проращиваются на кварцевом песке. Когда длина корешков достигает 2–3 см, проростки пересаживают на сетки, помещенные на кристаллизаторы. В кристаллизаторы наливается водопроводная вода, которая сменяется ежедневно. Через 8–12 дней, когда растения формируют несколько настоящих листьев, а длина корней достигает 5–7 см, растения отбирают для пересаживания в сосуды с питательной смесью.

Отобранные для пересадки в сосуды растения (по два экземпляра) обортывают вокруг семян ватой и закрепляют в отверстиях пробок. Через 10–15 дней, когда растения достаточно разовьются, проводят прореживание, оставляя по одному наиболее типичному для данного варианта растению в каждом отверстии пробки. Для высокостебельных растений в специальном отверстии пробки плотно закрепляют каркас для их поддержания.

Метод З.И. Журбицкого (1968). На полулисте обычной писчей бумаги, предварительно увлажненном, раскладывают по одному краю на расстоянии 0,5–1,0 см один от другого и на 0,5 см от края листа бумаги, наклонившиеся семена выращиваемых растений. Затем сверху накладывается следующий лист бумаги и вновь раскладываются семена. Так необходимо проделать несколько раз, чтобы разложить нужное для опыта количество семян (рис. 96).

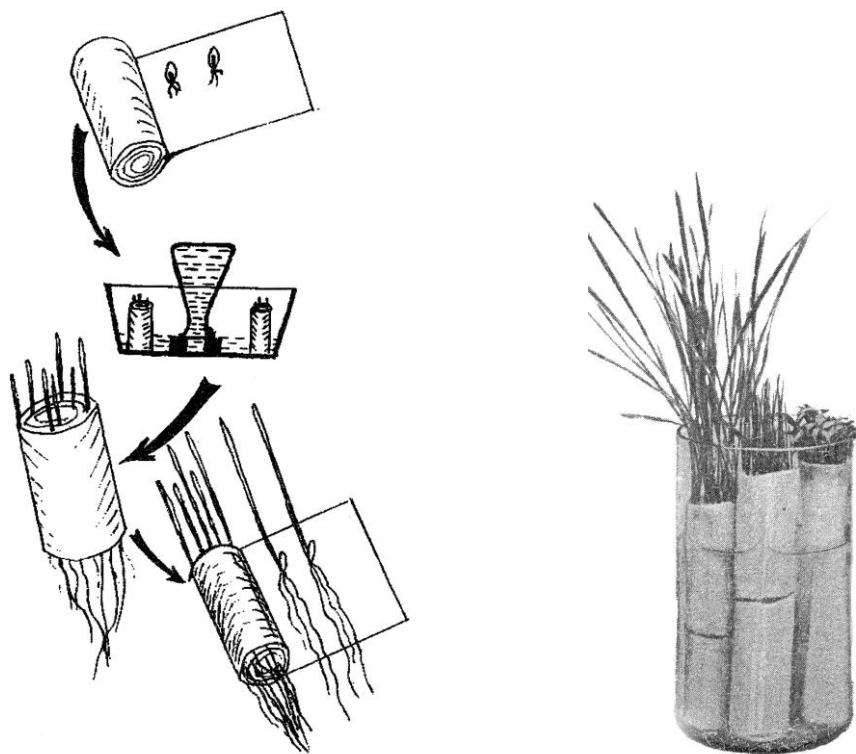


Рис. 96. Проращивание растений в бумажных рулонах

В завершение сверху кладут еще один лист бумаги, и все листы осторожно свертывают в виде плотного рулона. Чтобы рулон не развернулся, его обвязывают ниткой и ставят вертикально в стеклянный сосуд, в который наливают воду на 1–2 см ниже верхнего края. По капиллярам бумаги вода поднимется к семенам. По мере роста корней уровень воды в банке понемногу снижают. Фильтровальная бумага для приготовления рулонов не подходит, потому что в нее проникают мелкие корешки и потом их нельзя вынуть без повреждения.

Если нужно обеспечить лучшее развитие растений, после появления всходов в сосуд вместо воды следует наливать разбавленную питательную смесь.

Для пересаживания в сосуды отбирают одинаковые по длине стебля, по числу и длине корней и листочков растения. Отобранное растение обертывают вокруг семени ватой и закрепляют в отверстие пробки. В каждое отверстие высаживают 2 растения, а через 10–15 дней производят прореживание.

Метод З.И. Журбицкого (1968) в модификации С.Ф. Коваля и В.П. Шаманина (1999). После набухания в воде семена раскладываются на увлажненную бумажную полосу шириной 6–7 см и длиной до 20 см. Зерна должны быть ориентированы поперек полосы, зародышем в направлении нижнего конца будущего рулончика. Оптимальное расстояние от верхнего края полосы составляет 1–2 см. После раскладки полоса скатывается в трубку, и зерна оказываются неплотно зажатými между витками бумажной ленты. Рулончики устанавливают вертикально (зерном вверх) в сосуд, на дно которого налита вода слоем 1–2 см. В один рулончик следует закатывать до 20 зерен пшеницы, риса, гречихи или 6–8 зерен гороха или кукурузы.

При использовании проростков с первым листом нет необходимости давать растениям элементы минерального питания, но при более длительном проращивании их переносят на питательный раствор в момент появления корней из нижнего конца рулона. Применяют питательный раствор повышенной концентрации (2–3-кратная смесь Кнопа), но наливают его тонким слоем, чтобы не нарушить питание корней. Смену питательного раствора производят через 2–3 дня. Тонкий слой питательного раствора быстро испаряется и концентрируется. Для стабилизации уровня раствора удобно использовать самополивалки в виде наполненных водой и перевернутых широкогорлых колб. Колбы устанавливают в кристаллизатор с рулончиками на небольшие прокладки, высотой которых и регулируют уровень питательного раствора.

Закрепление растений в сосуде иногда удобно производят полосками поролона на рамках (сепараторах), вставляемых в прямоугольный сосуд из винилпласта или нержавеющей стали. Проростки, предварительно выращенные в рулонах бумаги, сортируются по размеру и раскладываются поперек полосы поролона, которая по длине равна щели сепаратора и в 1,5 раза шире ее. Дальнейший порядок зарядки сепаратора показан на рисунке 97.

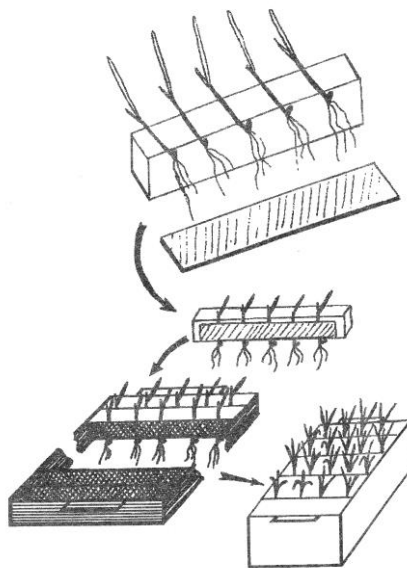


Рис. 97. Способ крепления растений в водной культуре

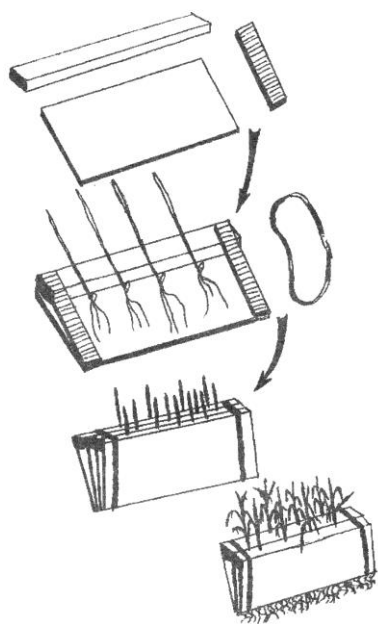


Рис. 98. Водная культура в кассетах.

тения, имеющие высокий стебель, подвязываются к специальной палочке, укрепленной в сосуде или крышке.

Для доставки корням растений кислорода растворы водных культур ежедневно продуваются в течение 5–10 мин. Пятиминутного продувания достаточно для молодых растений, а также для слабо развивающихся растений. Десятиминутное продувание применяется в период наибольшего роста растений. Перед уборкой продувание сосудов прекращается. Оптимальная скорость выделения пузырьков при продувании 2–3 шт./с. Аэрацию проводят через постоянно закрепленные в сосудах трубки при помощи автоматизированных компрессоров. Продувание можно осуществить и механически с помощью резиновой груши. Аэрация не обязательна, если корни неполно погружаются в раствор (примерно 1/3 их находится в воздухе) или закрепляются в мелких широких сосудах.

Систематически при проведении опытов с водной культурой по мере испарения раствора необходимо доливать сосуды дистиллированной водой до метки и проверять реакцию среды. Кислотность среды измеряется 2–3 раза в неделю с помощью рН-метров или индикаторной бумаги. При подкислении или подщелачивании питательного раствора оптимальную реакцию его можно восстановить, добавляя каплями соответственно растворы щелочи или кислоты, однако в этих случаях целесообразнее сменить питательный раствор. Мел, добавленный в раствор, поддерживает рН 6,5.

В водных культурах, как и в песчаных, при подщелачивании среды железо утрачивает подвижность, что приводит к хлоротичности растений. В минеральной форме оно доступно для растений при рН раствора до 5,0–5,5; при рН 6 и ниже железо следует вносить в виде лимоннокислой соли, при рН до 7 – в виде комплексного соединения с хелатом (например, в форме этилендиаминотетраацетата железа Fe-ЭДТА). Хелат железа можно изготовить, смешав хлористое железо с трилоном Б (этилендиаминотетраацетатом натрия). При проявлении хлороза рас-

Зерновки высаженных проростков злаков находятся ниже поролона, т. е. в воздушном пространстве между сепаратором и поверхностью раствора. Проростки двудольных растений погружают в сепаратор до семядолей, а у гороха семя зажимают в поролоне.

Модификацией описанной конструкции являются кассеты для выращивания растений (рис. 98). Особенно удобны они для выращивания мелкосемянных культур, но могут с успехом применяться и для средне- и низкорослых злаков. Собранный кассета с 3 рядами растений помещается в противень с 3–5 см слоем питательного раствора. Замена питательного раствора производится через 2 дня, а с начала цветения – через 4 дня.

Уход за растениями. После прореживания оставляют по одному растению в каждом отверстии. Рас-

тений в раствор необходимо добавить несколько капель лимоннокислого железа. Если хлороз не исчез, растения переносят на слабый раствор сернокислого или хлористого железа (1–2 г соли на 1 л воды). Время нахождения растений в таком растворе ограничивается 3–6 ч, затем они пересаживаются обратно.

Для борьбы с вредителями и болезнями растений используют пестициды. В течение вегетационного периода питательную смесь в сосудах меняют 2–3 раза. Уборку и учет урожая в опытах с водной культурой проводят так же, как при использовании почвенной, но здесь в обязательном порядке учитывают и массу корней.

12.2.2.4. Метод текущих растворов

В водных культурах, а тем более в песчаных, вследствие питания растений концентрация и реакция питательного субстрата меняются. Изменение реакции среды обусловлено способностью растений в соответствии с потребностями своего организма избирательно потреблять из питательной среды анионы и катионы. В разные периоды роста растений соотношение поглощенных катионов и анионов неодинаковое. Особенно неравномерно поглощаются ионы азотных удобрений. Если по условиям опыта необходимо в течение длительного периода поддерживать строго постоянную концентрацию питательного вещества или постоянное соотношение между элементами минерального питания, а также при изучении питания растений при постоянной реакции среды, следует прибегнуть к модификации вегетационного метода, названного методом текущих растворов. Этот метод предложен в 1928 г. И.Г. Дикусаром для изучения потребления растениями сахарной свеклы и кукурузы ионов NO_3^- , NO_2^- и NH_4^+ при различных значениях pH среды. При разовом внесении источников азота в субстрат через некоторое время вследствие избирательного потребления анионов и катионов изменяется их соотношение в питательной среде, что вызывает подкисления или подщелачивание. Для поддержания постоянной pH среды в течение вегетации необходимо все время подавать в сосуд новый питательный раствор, а использованный – удалять. Для этого питательный раствор определенного состава подается через сифон из сосуда в песок. Регулируя скорость его притока в вегетационные сосуды, а следовательно, и отток, осуществляется постоянное обновление питательной смеси в вегетационных сосудах и таким образом поддерживается их постоянная концентрация и pH.

Для осуществления этой идеи И.Г. Дикусар предложил установку, обеспечивающую постоянное обновление питательного раствора в вегетационных сосудах (рис. 99). Опыт размещается на вагонетке с тремя полками на разной высоте или же на стеллаже. На верхнюю полку устанавливается сосуд вместимостью 16–20 л с питательным раствором. С помощью сифона питательный раствор подается в промежуточный сосуд, в котором согласно закону сообщающихся сосудов автоматически поддерживается постоянный его уровень. Из промежуточного сосуда под постоянным давлением через сифоны с кранами или зажимами раствор по каплям подается в вегетационные сосуды с растениями, стоящими на нижней полке вагонетки. Вегетационные сосуды, используемые для метода текущих растворов, на дне должны иметь тубус с пробкой, в которую вставлена небольшая стеклянная трубка, через которую раствор вытекает наружу. В песок питательные вещества не вносятся. Для питания растений используется сильно разбавленная смесь Гельригеля или Кнопа, которая приготавливается в большом объеме. Скорость протекания раствора через сосуды с растениями не должна превышать 4 л в день.

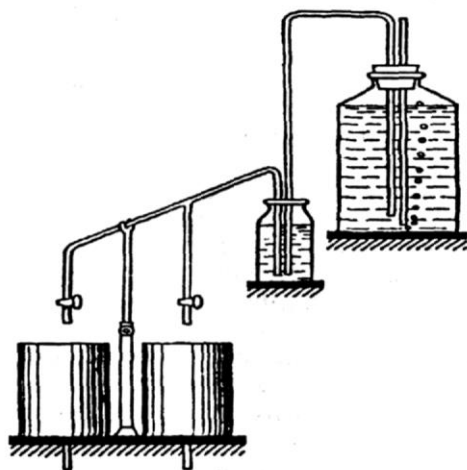


Рис. 99. Схема устройства для текучих растворов

Такая установка, при всей ее привлекательности не лишена недостатков. Во-первых, трудно установить при помощи винтовых зажимов равномерность протекания питательного раствора во всех вариантах эксперимента. Если этого удалось достигнуть, то вскоре равномерность нарушается из-за изменения упругости каучуковых трубок на солнце. Во-вторых, питательный раствор, поступающий по каплям в сосуды, не растекается по всей поверхности сосуда и промывает сравнительно небольшое цилиндрическое пространство, находящееся непосредственно под концом сифона. При этом в остальной части сосуда смена питательного раствора происходит медленно. В-третьих, большой расход дистиллированной воды. За период вегетации только для одного сосуда он превышает сотни литров.

Для устранения отдельных недостатков метода З.И. Журбицкий (1968) предложил для равномерного полива субстрата и растений в сосудах использовать качающиеся трубки и качающиеся кюветки, дистиллированную воду заменить специально подготовленной водопроводной водой. Подготовка воды заключается в установлении устойчивой реакции (рН) в нужном интервале и вытеснении углекислоты. Из-за содержания в воде гидрокарбонатов кальция и магния реакция водопроводной воды, как правило, бывает щелочной, ее сдвигают в слабокислую сторону добавлением серной кислоты. Углекислоту устраняют длительным продуванием воздуха.

12.2.2.5. Метод изолированного питания

Метод изолированного питания (изолированной культуры) предложен П.Р. Слезкиным и усовершенствован И.С. Шуловым. Значительный вклад в совершенствование метода внесли А.И. Ахромейко и В.В. Федоровский. Пользуясь этим методом, можно изучать: 1) роль отдельных корней в питании растения; 2) передвижение элементов питания по корневой системе и их выделение в окружающую среду; 3) взаимодействие двух или нескольких солей в питательной среде и влияние этого взаимодействия на жизнедеятельность растений.

Принцип метода изолированного питания состоит в том, что растение одновременно выращивают на двух субстратах. Для этого берут два сосуда разного диаметра и заполняют их питательными субстратами. В качестве субстрата для

изолированных культур используют воду, песок, почву, а также их комбинации. Опыты с песчаной, водно-песчаной, песчано-почвенной культурами проводят в обычных цилиндрических, прямоугольных или квадратных стеклянных сосудах, разделенных перегородками на две или несколько частей или вставляемых один в другой. При этом высота внутреннего сосуда должна быть ниже внешнего не менее чем на 2–3 см. Если нет подходящих по высоте внутренних сосудов и они небольшой высоты, то их приходится во внешнем сосуде ставить не на дно, а на подставку или непосредственно на используемый песчаный субстрат. Подготовленные проростки растений высаживают таким образом, чтобы одна половина корней каждого растения получала питание из внешнего сосуда, другая – из внутреннего сосуда (рис. 100).

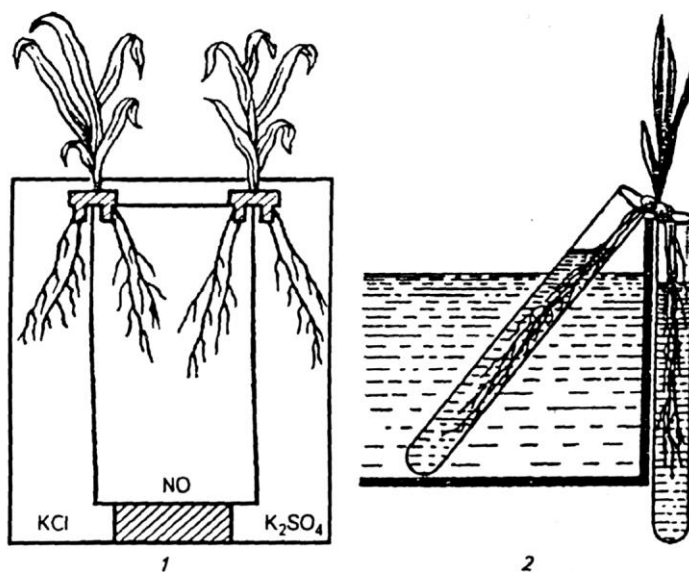


Рис. 100. Метод изолированного питания:

1 – корни находятся в разных питательных смесях; 2 – корни находятся при разных температурах

Ниже приводим методику проведения эксперимента по методу изолированного питания растений в описании З.И. Журбицкого (1968).

При закладке опытов с песчаными культурами сначала набивают меньшие сосуды, так же, как это описано в разделе о песчаных культурах. Затем приступают к набивке больших сосудов. На их дно также укладывают горку из гравия, марлевый кружок и поливную трубку. Питательные элементы в этих опытах не распределяются пропорционально количеству песка в каждом сосуде, поскольку задача заключается именно в выделении отдельных изучаемых элементов в один из сосудов, с тем, что остальная часть питательной смеси будет дана во второй сосуд. При набивке сосудов каждая порция песка увлажняется до 60 % от полной влагоемкости, т. е. на каждый килограмм песка приливается в сумме 150 мл питательных растворов и воды. В дальнейшем при поливах воду, доливаемую до постоянного веса сосудов, следует распределять между сосудами пропорционально количеству песка в каждом из них.

Наиболее ответственным моментом при закладке опытов по изолированному питанию растений является посадка растений. Для посадки необходимо подготовить довольно большие растения, имеющие корни длиной не менее 4–5 см. Пророщенные семена высаживают на парафинированную сетку над дистиллированной водой и выдерживают в течение 7–12 дней, пока не образуются корни достаточной длины. Если опыты проводятся с растениями, имеющими стержневую корневую систему, то после отрастания корня длиной 1,5–2 см при посадке на сетку у него для обеспечения ветвления отрезают кончик.

Растения высаживают в сосуды на специально подготовленные пробки. В песчаных культурах для каждого растения берутся отдельные пробки, а водных – можно использовать на весь сосуд одну деревянную пробку с необходимым количеством отверстий для посадки растений и с добавочными отверстиями для укрепления палочек, поддерживающих растения, трубок для продувания и воронок для подливания воды.

Для посадки отбираются по возможности одинаковые растения с хорошо развитой корневой системой. Желательно, чтобы каждое растение имело четное число корней, тогда их легче разделить на две одинаковые пряди. Посадку лучше производить к вечеру, когда ниже температура и меньше инсоляция, чтобы растения испаряли меньше воды. Корни отобранных растений в течение всей работы по посадке должны находиться в воде. Растение с влажными корнями вставляют в цилиндрическое отверстие в пробке. На стенках сосудов намечают места посадки растений (крепления пробок). Напротив этих меток в песке внутреннего и наружного сосудов сделаны глубокие, просторные косые бороздки, в которые можно будет легко и быстро вложить и расправить пряди корней. Корневую систему осторожно разделяют на две равные пряди и пробка вместе с растением насаживается на стенку внутреннего сосуда в заранее намеченное место. Корни укладываются в бороздки и немедленно заделываются песком при помощи сильной струи дистиллированной воды из промывалки. При этом песок в сосуде несколько переувлажняется, поэтому надо следить, чтобы воды не было больше чем по расчету на 80 % от полной влагоемкости, иначе аэрация песка будет недостаточной и приживание растений затруднится. Небольшое переувлажнение (сверх 60 % от полной влагоемкости) и снижение концентрации питательного раствора у корней вследствие заделки их струей дистиллированной воды благоприятны для приживания растений. Верхние части корней у самой пробки заделываются влажным песком, а стебель укрепляется в отверстии пробки ватой. Особо надо позаботиться о контрольных сосудах.

Необходимо иметь контроль на вычленение отдельных элементов в одном из сосудов. Для этого закладываются сосуды с внесением одинаковой полной питательной смеси в оба сосуда, причем, общее количество питательных элементов должно быть одинаковым в контрольном и опытном вариантах. Второй контроль необходимо сделать на деление корневых прядей и посадку их в особые условия в пробки. Для этого ставят вариант с обычной песчаной культурой без деления корней. Все контрольные варианты закладываются одновременно, с совершенно одинаково подготовленными растениями. В песчаных культурах для посадки растений с длинной корневой системой в песке подготовленного сосуда углубление делается так, чтобы в нем можно было расположить корневую систему в отвесном положении.

Соблюдая основные положения этого метода, каждый исследователь может модифицировать его в соответствии с задачами опыта и выращиваемыми растениями.

12.2.2.6. Метод стерильных культур

Стерильные культуры используют для выяснения роли микроорганизмов в питании растений, изучения корневых выделений и возможности питания растений органическими соединениями.

В разработку метода стерильных культур большой вклад внесли П.С. Коссович, И.С. Шулов и М.Ф. Федоров.

Для стерильных культур более удобны конические колбы. Горло колбы должно быть небольшим, но достаточным для высаживания и выращивания растения, и плотно закрывалось пробкой (рис. 101).

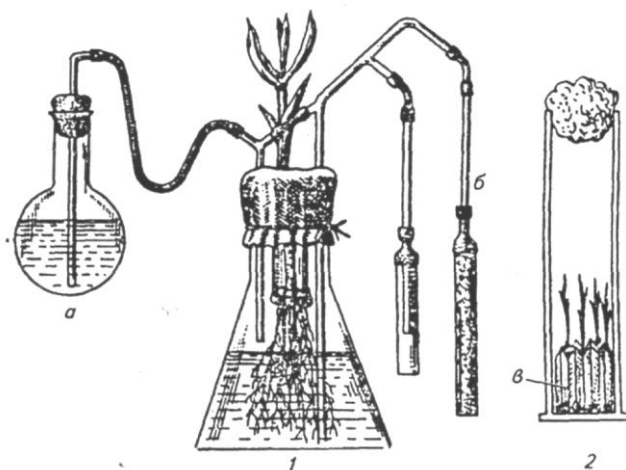


Рис. 101. Стерильные культуры:

1 – вид культурального сосуда (*a* – емкость с питательным раствором; *б* – приспособление для аэрации и отбора проб); 2 – упрощенный способ для проростков (*в* – складчатый фильтр)

Питательные растворы и специально оборудованные сосуды, применяемые для опытов со стерильными культурами, автоклавируют, поэтому используемые стеклянные сосуды и различные трубки должны быть жаростойкими и не трескаться в процессе стерилизации при давлении 2 атм. Каучуковые трубки не должны слипаться при стерилизации в месте зажима. Чаще всего для этих целей используются медицинские зонды, предварительно прокипяченные в дистиллированной воде.

Сосудами для стерильных культур служат конические колбы на 1,5; 3 и 5 л в зависимости от условий опыта и продолжительности выращивания растений. Горло колбы должно быть таким, чтобы в него плотно входило смонтированное приспособление для посадки растений. При монтаже сосудов все соединения делают очень плотными, чтобы не нарушалась стерильность.

Когда все подготовительные работы закончены, приступают к окончательной монтажке и стерилизации сосудов, причем окончательно монтируют только те сосуды, которые в тот же день будут стерилизоваться.

В зависимости от целей и задач исследований можно использовать любую питательную смесь, в т. ч. и с микроэлементами, исключая или добавляя в нее элементы, изучаемое соединение как органического, так и минерального происхождения.

Стеклянную посуду и песок стерилизуют, прокаливая в течение двух часов при 150°C. Питательные растворы иногда нагревают до 100°C, несколько

дней хранят при комнатной температуре и снова нагревают; считается достаточной трехкратная обработка. Культуральные сосуды из полиэтилена, перлоновую марлю, пенопласты и другие, не выдерживающие нагревания материалы, которые используются для монтажа стерильных культур, погружают на 20 час в раствор хлорной извести, споласкивают 50 %-ным метанолом и стерильной дистиллированной водой.

Сосуды с растениями прикрывают чехлами для предотвращения нагревания раствора, корневой системы и попадания на них солнечных лучей.

Семена стерилизуют растворами различных препаратов, но обязательно промывают стерильной дистиллированной водой. Для лучшего смачивания семена перед стерилизацией погружают на несколько минут в 96 %-ный этиловый спирт для обезжиривания поверхности. Зерновки пленчатых культур (ячмень, овес, рис) перед стерилизацией рекомендуется освободить от колосковых и цветковых чешуй.

Существует несколько способов стерилизации семян: 1) погружение на 10–15 мин в 1 %-ный водный раствор брома и промывка стерильной дистиллированной водой; 2) замачивание в 0,001 %-ном водном растворе этилмеркурфосфата в течение 5 мин и промывка; 3) помещение на 12–15 мин в 12–15 %-ный раствор пероксида водорода и промывка; 4) погружение на 15–20 мин в 0,1 %-ный раствор формальдегида и промывка; 5) встряхивание в течение 5 мин в растворе, состоящем из 3 частей 90 %-ного метанола и 1 части 1 %-ного HgCl_2 , посев проводят после подсушивания; 6) встряхивание в фильтрате в течение 45 мин и посев в сосуды без прополаскивания и высушивания (фильтрат готовят, растворяя 10 г $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ или NaOCl в 150 мл воды, затем фильтруют); 7) погружение очищенных от лузги семян подсолнечника на 15 с в 80 %-ный раствор метанола и промывка; 8) погружение семян пшеницы на 30 с в 80 %-ный раствор метанола и промывка; 9) 12,8 %-ный препарат бензалкониум-хлорида, разведенный водою в соотношении 1:1000, хорошо стерилизует семена, но угнетает последующий рост растений.

Возможна стерилизация семян в пламени. Для этого семена намачивают в 95 %-этаноле, который поджигают от пламени спиртовки и выдерживают до полного сгорания спирта с поверхности семян. Стерилизация в пламени пригодна для крупносемянных бобовых культур.

Питательные среды стерилизуют путем внесения пенициллина и других антибиотиков в концентрациях порядка 3–10 мг/л или облучения ультрафиолетовым светом при условии, что они не оказывают влияния на изучаемый процесс. Растительные материалы (черенки, корневища) стерилизуются погружением на 15–20 мин в 1 %-ный раствор гипохлорита натрия. Посев производится в стерильных боксах, оборудованных бактерицидными лампами. Все инструменты, вата стерилизуются. После окончания опыта проверяется стерильность растворов путем микробиологических посевов.

Стерилизованные семена проращиваются в стерильном боксе. Когда основная масса семян наклюнется, приступают к их посеву в стерильные сосуды. Не следует допускать перерастания, т. к. большие корешки (больше 1 см) обламываются при посадке.

Перед посевом у стерильных сосудов отжимают каучуковые трубки, доливают воду или питательный раствор до сетки посевной трубки и осторожно продувают растворы. Вносят их в комнату перед боксом и протирают все стеклянные поверхности спиртом.

Семена на сеточку проталкивают через зажим Мора пинцетом. После посева проверяют положения семян на сеточке. Если семена лежат корешками

вверх, легким продуванием раствора семена поворачивают. На сосуды снизу надевают двойные мешочки и ставят на место. Продувание раствора производят ежедневно. В конце опыта необходимо брать пробы для проверки стерильности питательного раствора.

С помощью метода стерильных культур сделан ряд важных и интересных открытий, в частности, доказана возможность использования растениями азота аспарагина, фосфора лецитина и фитина, изучены роль корневых выделений растений, значение микроорганизмов и физиологически кислого сульфата аммония при усвоении P_2O_5 из фосфоритной муки.

12.2.3. Вегетационно-микрополевой опыт

В классическом вегетационном опыте, поставленном в специальных сооружениях, температурный режим обычно весьма далек от естественного, а водообеспечение регулируется по воле экспериментатора. Его результаты ничего не говорят о том, как изучаемые параметры будут модифицироваться в полевой обстановке. Частично это устраняется при вегетационно-микрополевом методе исследований, который точнее воспроизводит экологические условия зоны, в т. ч. естественный ход погодных условий и использование растением подпочвенных горизонтов.

Вегетационно-микрополевой опыт закладывается в сосудах без дна глубиной 50–60 см, вкопанных вровень с поверхностью поля и наполненных изучаемой почвой. Можно использовать траншею, выстеленную по стенкам полиэтиленовой пленкой и разделенную поперечными перегородками на отдельные участки, имитирующие сосуды. Если схемой опыта не предусмотрено изучение режима орошения, то производится только влагозарядковый полив, а остальная вода поступает к растению за счет естественных осадков и из подпочвенных горизонтов. Вегетационно-микрополевой метод незаменим при изучении почвенной симбиотической и патогенной микрофлоры, некоторых насекомых-вредителей. Заражение почвы корневой гнилью злаков, серой гнилью подсолнечника, вилтом хлопчатника не позволяет заложить обычный полевой опыт по изучению вредоносности этих болезней, т. к. невозможно иметь стерильный контроль. Классический вегетационный метод для этого не вполне корректен, так как в естественной обстановке вредоносность патогена резко усиливается действием неблагоприятных экологических условий. Используя данный метод, легко отделить влияние на растение плодородия данной разновидности почвы от эффекта климата той зоны, где эта почва сформировалась. Вегетационно-микрополевые сосуды могут быть наполнены почвой, привезенной из иных климатических зон. Такой подход оправдан при изучении вклада почвы и климата в реализацию потенциальной продуктивности растений. Практически неограниченный объем сосудов позволяет в этом случае вести исследования с учетом одного из главнейших для растения свойств почвы – ее высокой буферности. Этим они удобны при изучении влияния экологических факторов на рост растений. Основным недостатком вегетационно-микрополевого метода является его зависимость от погодных условий конкретного года. Но комбинация его с засушниками, глухими пленочными покрытиями для повышения температуры или затеняющими марлевыми пологими открывает для экспериментатора широкие возможности. Подробно этот вопрос будет освещен при изложении полевого опыта.

В агрохимических и мелиоративных исследованиях в вегетационно-микрополевом опыте имеет смысл использовать не насыпку сосудов почвой,

а монолиты, вырезанные в почвах различных ландшафтов и вкопанные на одном полигоне. Естественная пестрота почвенного покрова в этом случае должна компенсироваться увеличением числа повторностей. Кроме того, монолиты-повторности следует вырезать на выровненном участке, по возможности ближе друг к другу. Глубина монолита определяется целью опыта и может достигать 3 м. Монолиты короче 60 см, видимо, не дают преимущества перед насыпными сосудами. Поперечное сечение монолита должно быть больше, но оно ограничивается грузоподъемностью имеющихся у экспериментатора лебедок и транспортных средств.

В дополнение к перечисленным выше областям исследования монолиты позволяют перенести из зоны в зону микроучастки естественной растительности с характерной для них химической, физической и биологической средой корнеобитания. Наблюдения в течение длинного ряда лет над переселенными в монолитах растениями позволяют определить роль климатических факторов в заселении ими первоначальных мест обитания. Закладка опытов в монолитах очень трудоемка, и использование их имеет смысл только при проведении многолетних комплексных наблюдений над системой растение-почва-климат. Строительство полигона монолитов по силам только крупным институтам, способным оборудовать его датчиками для регистрации температуры и влажности, рН; организовать анализ лизиметрической воды и выноса отдельных элементов растениями (Коваль С.Ф., Шаманин В.П., 1999).

Вегетационно-микрополевые опыты нашли широкое применение в экспериментах с рисом. Сооружения для их проведения изготавливают из кирпича или железобетонных блоков и располагают над поверхностью или ниже уровня почвы (рис. 102; Сметанин А.П., Дзюба В.А., Апрод А.И., 1972). Емкость выстилают полиэтиленовой пленкой для предотвращения утечки воды и заполняют почвой, взятой с рисовых чеков.

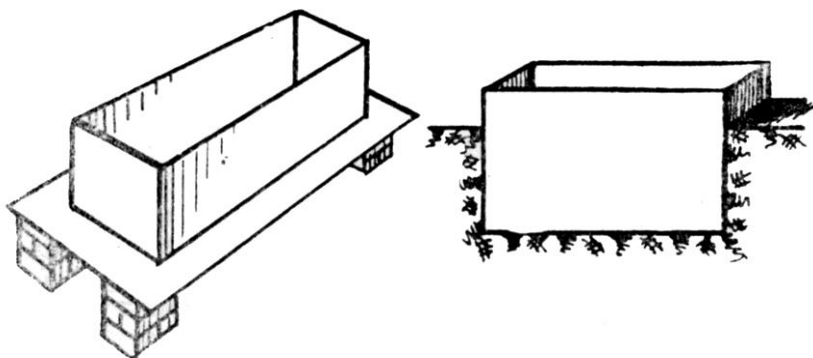


Рис. 102. Сооружение для выращивания растений риса в вегетационно-микрополевом опыте.

Режим орошения риса в вегетационно-микрополевом опыте соответствует рекомендованному для производственных посевов. Главное назначение этих сооружений – приблизить температурный режим в зоне размещения корней к наблюдаемому в полевых условиях, а также поддерживать физиологически обоснованный слой воды в соответствии с фазой развития растений.

12.2.4. Лизиметрические исследования

Лизиметрические исследования – это исследование жизни растений и динамики почвенных процессов в специальных сооружениях – лизиметрах, которые позволяют учитывать передвижение и состав фильтрующихся вод и вести наблюдения за просачиванием атмосферных осадков в естественных почвенно-климатических условиях. *Лизиметрический метод* позволяет изучать выщелачивание органических и минеральных соединений из почвы и внесенных в нее удобрений. Особенно широко в агрохимии лизиметры используются при изучении потерь питательных веществ, вымываемых при инфильтрации в связи с применением удобрений.

Лизиметрические исследования позволяют вскрыть связи между питательными веществами почвы, удобрениями и растениями. На основании сопоставления содержания и поступления питательных веществ в почву с выносом их с урожаем дается основа для составления баланса питательных веществ в почве, необходимая для построения обоснованной системы удобрения.

В лизиметрических исследованиях используется несколько конструкций, отличающихся устройством и особенностями дополнительных приспособлений для изучения просачивания воды и растворенных в ней питательных веществ.

Лизиметры сооружают из бетона, кирпича, оцинкованного железа или пластмассы. Независимо от конструкции, ко всем лизиметрам предъявляют единые методические требования:

- должна быть обеспечена возможность вести наблюдения в условиях, близких к окружающей природной обстановке. Для соблюдения этого условия лизиметры вкапывают в грунт таким образом, чтобы уровень почвы в них совпадал с поверхностью окружающей местности;

- для проведения сравнительных исследований или постановки опыта по определенной схеме лизиметры устраивают группами с соблюдением определенного расстояния между ними;

- для сбора фильтрационных вод на дне лизиметра устраивают дренаж и короткие трубопроводы с выводом в подземный коридор, где помещаются специальные приемники стекающей воды. Этот коридор имеет круглосуточное освещение, что позволяет вести наблюдения. Подземное помещение тщательно изолируется, чтобы исключить резкий перепад температуры и попадание в него атмосферных осадков;

- в зависимости от цели исследования лизиметры могут быть парующими или занятыми растительностью. Поэтому расположение лизиметров должно обеспечить нормальный рост и развитие растений и иметь защитные ограждения от повреждений животными и птицами;

- для учета количества выпавших осадков вблизи лизиметров устанавливают дождемеры;

- лизиметры должны быть расположены вблизи агрохимических лабораторий. Это позволит исключить необходимость перевозки лизиметрических вод и более оперативно провести наблюдения.

По способу наполнения почвой лизиметры подразделяют на два типа: *с почвой естественного строения* и *лизиметры с насыпной почвой*. В первом случае в лизиметры берут почву с сохранением генетических горизонтов, во втором почву после просеивания набивают в лизиметры послойно с сохранением генетической последовательности горизонтов. В лизиметрах с малой вместимостью можно использовать почву лишь пахотного слоя. При набивке каждый слой почвы доводят до естественного объема.

Существует несколько конструкций лизиметров, отличающихся приспособлениями для сбора просачивающихся вод и растворенных в них веществ. Лизиметры изготавливают различных размеров в виде цилиндров, кубов, параллелепипедов или воронок (Эбермайера). Стенки и дно лизиметров делают из влаго непроницаемых материалов: бетона, металла, кирпича, пластмассы, включая пластмассовые пленки. Для стока просачивающейся через почву лизиметра воды дно его должно иметь уклон в определенную сторону, где имеется отверстие, через которое просочившаяся вода через трубки соединяется с приемником для сбора фильтрата. Для улучшения стока просочившейся воды на дне каждого лизиметра укладывают дренажный слой из гравия, песка или щебня.

Для сравнительных исследований лизиметры размещают группами по 10 шт. и более в два или более (но с четным числом) ряда с определенными расстояниями между ними и отдельными приборами, вкапывая их в грунт так, чтобы уровень почвы в них совпадал с поверхностью окружающей среды. Приемники для сбора просачивающихся через почву лизиметров вод помещают в подземных сооружениях, хорошо изолированных от атмосферных осадков, а в осенне-зимне-весенний период от резких перепадов температур (Жуков Ю.П., 1987).

Бетонные или кирпичные лизиметры – устраивают для проведения многолетних опытов. Они пригодны для работы с насыпной почвой. Как правило, бетонные или кирпичные лизиметры имеют площадь поверхности каждого от 1 до 4 м² и глубину 1 м. Располагают лизиметры парами рядов, между которыми делают подземный коридор, в который выходят трубки из каждого лизиметра со сменными приемниками для сбора фильтрующихся почвенных растворов.

На рисунке 103 показан вертикальный разрез лизиметрического сооружения (Пискунов А.С., 2004).

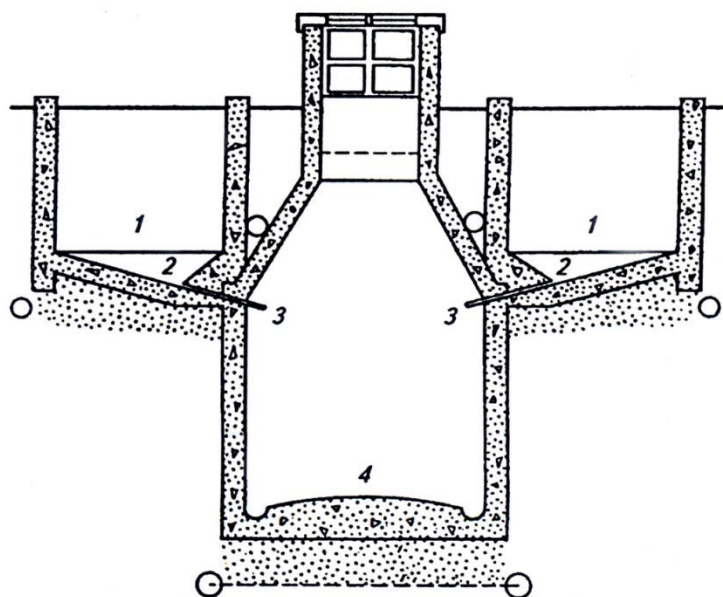


Рис. 103. Вертикальный разрез лизиметрического сооружения:

- 1 – емкость для наполнения почвой; 2 – дренажное устройство;
- 3 – выводная трубка для сбора воды; 4 – коридор

Металлические и пластмассовые лизиметры очень разнообразны по конструкции, бывают разной формы (цилиндр, параллелепипед) и емкости.

Примером может служить малый металлический лизиметр А.В. Ключерева (рис. 104).

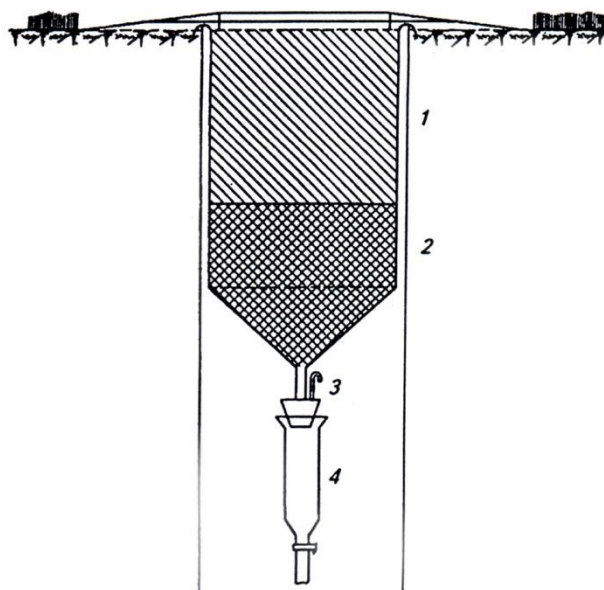


Рис. 104. Вертикальный разрез лизиметра А.В. Ключерева:

1 – цилиндр с почвой; 2 – дренажное устройство; 3 – трубка для сбора воды; 4 – делительная воронка для измерения объема воды

Это тонкостенный стальной цилиндр диаметром 11 см и глубиной 20 см. Снизу к цилиндру, заполненному почвой естественного сложения, герметически прикреплено дно в форме цинковой воронки, в которой помещен дренажирующий материал. Для сбора фильтрата служит делительная воронка, соединенная с прибором пробкой с трубками. Чтобы эти лизиметры поместить в грунт, в него предварительно зарывают до краев другие тонкостенные железные цилиндры высотой 50 см, открытые с обоих концов. Диаметр их таков, чтобы стальные цилиндры могли входить в них. Лизиметры с почвой и воронками опускают в эти железные цилиндры и удерживают на крючках. Зазоры между железным цилиндром и лизиметром закрывают специальными цинковыми защитными щитками.

Металлические лизиметры применяются для работы как с почвами естественного сложения, так и с насыпными. В опытах с насыпной почвой используют лизиметры цилиндрической формы и в форме параллелепипеда, сделанные из листовой оцинкованной стали, иногда изнутри покрытой асфальтовым лаком. На дне их делают, как и в бетонных лизиметрах, дренаж из гравия и песка. Наполненные почвой лизиметры либо непосредственно закапывают в грунт так, чтобы поверхность почвы в них была на одном уровне с поверхностью окружающей местности, либо помещают в другой металлический цилиндр или ящик немного большего диаметра, вкопанный в грунт. В этом слу-

чае внешний служит для укрепления стенок ямы, а внутренний – собственно лизиметром. Выемные лизиметры устраивают для того, чтобы их можно было извлекать из ямы и взвешивать. Во всех случаях в дне лизиметра имеется отверстие, соединенное системой трубок с приемником для сбора фильтрата.

Для заполнения почвой без существенного нарушения ее естественного сложения применяют лизиметры с отделяющимся дном, нижние стенки которых заострены. Такой полый цилиндр или параллелепипед врезают в почву полностью, затем осторожно выкапывают его вместе с содержащейся в нем почвой. Дно воронкообразной формы, заполненное дренажным материалом, с отверстием для сбора фильтрата, плотно прикрепляют к выкопанному лизиметру с почвой. Переносят лизиметр на заранее подготовленное место, соединяют с приемником и помещают на одинаковом уровне с окружающей почвой (Юдин Ф.А., 1980; Жуков Ю.П., 1987).

Лизиметрические воронки являются одной из модификаций металлических лизиметров. Они позволяют проводить исследования с почвами естественного, т. е. ненарушенного строения, а следовательно, получать более объективные результаты по водному и пищевому режиму в конкретных почвенно-климатических условиях. Впервые лизиметрические воронки для изучения водного режима почв в конце XIX в. применил Е. Эбермайер. Схема устройства и размещения лизиметрических воронок Эбермайера приведена на рисунке 105.

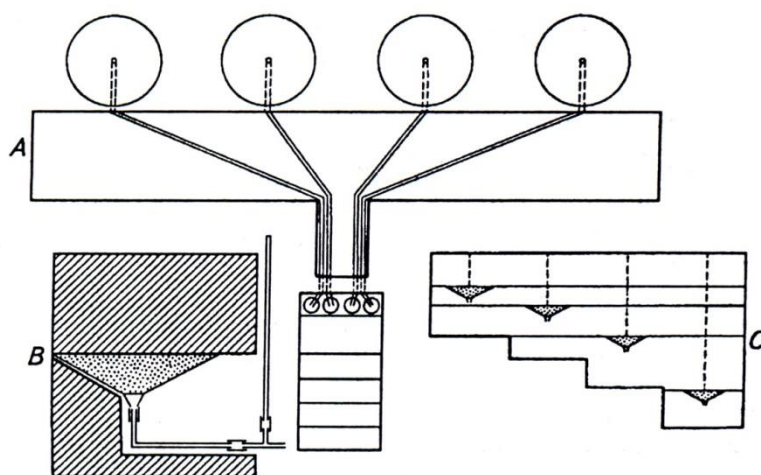


Рис. 105. Лизиметрические воронки Е. Эбермайера:

А – общий план; В – разрез одного лизиметра-воронки;
С – схема расположения воронок на различных глубинах

Цинковые воронки диаметром 25–50 см имеют глубину 5 см, края их загнуты вверх на 0,5 см и заострены, выходное отверстие прикрыто цинковым кружком с отверстиями 2 мм, вся воронка заполнена дренирующими материалами.

Для установки воронок роют траншею глубиной на 50 см больше желаемого размещения каждой воронки. На вертикальной стене траншеи делают ниши на той глубине, на которой запланировано помещать каждую воронку. В ниши вводят воронки и врезают острыми краями их в потолки ниш. Делают люк с крышкой, чтобы можно было спускаться в яму к приемникам. В нишах все эти пустоты снова засыпают землей.

Ю.П. Жуков (1987) рекомендует размещать воронки на расстоянии 30–100 см друг от друга вдоль траншеи. При размещении воронок на неодинаково удобренных участках расстояния между ними должны быть больше 200 см. Это позволяет предотвратить отток или приток влаги с соседних участков, так как воронки не имеют боковых стенок и вода может просачиваться в них не только с площади, расположенной строго вертикально над воронкой.

Основная цель лизиметрического опыта – создание условий, близких к природным, возможность учета просочившихся атмосферных осадков, а вместе с ними и питательных веществ через определенный слой или горизонт почвы.

По данным Ф.А. Юдина (1980), количество просачивающейся воды через почву в лизиметрах зависит от:

- способа наполнения лизиметра. Просачивание идет интенсивнее в почвах, сохранивших естественное строение, т.к. в насыпных лизиметрах почва уплотняется;

- свойств почвы. В почвах тяжелого гранулометрического состава просачивание воды происходит менее интенсивно в сравнении со средне- и легкосуглинистыми;

- времени года. Весной и осенью просачивание значительнее, чем зимой и летом;

- количества осадков за определенный период времени. Выпадение их более 40 мм за сутки в летнее время на почвах тяжелого гранулометрического состава приводит к просачиванию воды на глубину до 1 м, в то время как выпадение 20 мм – всего лишь на 60 см. При выпадении 40 мм осадков за недельный срок просачивания до 1 м не происходит;

- температуры воздуха и почвы. При высокой температуре воздуха и почвы испарение происходит быстрее и интенсивнее, а просачивание уменьшается;

- наличия растений. В лизиметрах, занятых растениями, просачивание меньше, чем в парующих вследствие испарения влаги растениями.

Таким образом, водный режим лизиметров в определенной степени отличается от водного режима естественных почв. И результаты исследований, полученные с использованием лизиметров, будут не полностью идентичны результатам, полученным в естественных условиях. Однако проведение опытов в лизиметрах дает возможность иметь надежные сравнимые результаты.

На подвижность питательных веществ почвы и удобрений в лизиметрах влияют складывающиеся в них условия. Немаловажное значение при этом имеют вид и формы применяемых удобрений. Количество вымываемых удобрений находится в прямой зависимости от их растворимости и просочившейся воды, а также от характера взаимодействия питательных элементов удобрений с почвой.

А.С. Пискунов (2004), обобщив результаты своих многолетних исследований и литературные данные, показал зависимость миграции элементов питания почвы и удобрений от форм почвенной влаги. По его данным, передвижения катионов и анионов в почве при гигроскопической влажности практически не происходит. Если влажность почвы относится к категории пленочной, отмечает автор, передвигающейся под влиянием молекулярных сил от более влажных слоев почвы к более сухим, то питательные вещества удобрений могут передвигаться как в направлении движения воды, так и против него.

Большая часть питательных элементов, как подчеркивает А.С. Пискунов (2004), передвигается в почве с гравитационной водой, причем это может происходить в двух направлениях: при полном насыщении капилляров водой и даль-

нейшем увлажнении вниз по профилю, а при отсутствии осадков и испарении, влага и питательные вещества могут подниматься к поверхности почвы.

Неодинакова и подвижность катионов и анионов удобрений ввиду различной поглотительной способности их почвами. Отрицательное физическое поглощение наблюдается при взаимодействии почвы с нитратами, хлоридами, поэтому подвижность их с почвенной влагой бывает высокой. Подвижность нитратов и хлоридов велика и потому, что анионы азотной и соляной кислот (NO_3^- и Cl^-) не поглощаются химически, так как не образуют нерастворимых в воде соединений с катионами кальция, магния, калия, алюминия, железа, аммония (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , NH_4^+). Анионы угольной и серной кислот (CO_3^{2-} и SO_4^{2-}) с одновалентными катионами образуют растворимые в воде соли, а с двухвалентными катионами кальция и магния (Ca^{2+} , Mg^{2+}) – нерастворимые (CaCO_3 , MgCO_3 и CaSO_4 , MgSO_4). Анионы фосфорной кислоты (H_2PO_4^- и HPO_4^-) с одновалентными катионами (K^+ , Na^+ , NH_4^+) образуют хорошо растворимые соли (KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, K_2HPO_4 , Na_2HPO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), с двухвалентными катионами – растворимые соли $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, малорастворимые CaHPO_4 , MgHPO_4 и нерастворимые в воде соли $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ (Пискунов А.С., 2004).

Для фосфатов характерно как катионное, так и анионное поглощение почвой, в связи с чем передвижение фосфатов в почве носит ограниченный характер (Бобко Е.В., 1938).

Большая часть калия удобрений закрепляется в почве физико-химически и находится в обменно-поглощенном состоянии. Он способен переходить в почвенный раствор при вытеснении его другими катионами как самой почвы, так и вносимых удобрений. Однако передвижение калия с влагой почвы происходит значительно медленнее, чем нитратов и хлоридов (Петербургский А.В., 1967).

По данным Б.А. Голубева (1967)? полученные в лизиметрах глубиной 1 м потери элементов питания от вымывания в неудобренных почвах составляют: 12,8 кг/га азота, 1,2 – фосфора, 27,4 – калия, 51,4 – серы, 46,8 – кальция, 32,0 – магния, 46,8 кг/га оксида кремния.

Таким образом, лизиметрические исследования, имея некоторый элемент условности в сравнении с естественными почвами, тем не менее дают представление о возможных потерях элементов питания в процессе миграции в подпахотные слои почвы. Это приходится учитывать при выборе норм, видов, форм, сроков и способов внесения удобрений в почву.

12.2.5. Гидропоника, аэропоника, агрегатопоника, плаstopоника

Гидропоника (от греческого *hydor* – вода и *ponos* – работа; буквально: "работа с водой") – выращивание растений без почвы на искусственных питательных растворах. Выращивание в гидропонной установке может рассматриваться как первое приближение к жизни растения на почве. Оно может применяться в самых разнообразных исследованиях: для ускоренного размножения ценных образцов, при гибридизации в зимний сезон, при генетических исследованиях, для изучения функционирования надземных органов на фоне оптимального водоснабжения и питания. Сочетание бесплодного субстрата с питательным раствором создает оптимальные условия аэрации, водоснабжения и питания. Гидропонные субстраты свободны от семян сорняков, легко стерилизуются и поэтому в них не возникает почвоутомление. При грамотной культуре гидропонные теплицы дают несравненно более высокий

урожаи сельскохозяйственных культур. Но следует помнить, что плодородие гидропонной культуры искусственное, целиком зависит от экспериментатора и, следовательно, требует постоянного контроля за питательным раствором и состоянием растений. Выбор субстрата зависит от доступности для исследователя того или иного сырья (Коваль С.Ф., Шаманин В.П., 1999).

Наиболее распространены водно-гравийные культуры. Принцип устройства гравийных установок следующий: в водонепроницаемые вместилища насыпают субстрат (гравий); под ними размещают резервуар с питательным раствором, который соединен системой труб с вместилищами; по системе труб насосом раствор подается в субстрат к корням растений, а затем самотеком стекает обратно в резервуар. В зависимости от времени года, возраста растений и свойств субстрата раствор подают к корням растений 1–5 раз в день. Верхний 1,5–2,0 см слой субстрата во избежание появления на его поверхности водорослей раствором не смачивают. Цикл подачи и сброса раствора длится 30–50 мин. В период между подачами раствора корни поглощают воду и растворенные в ней элементы питания с поверхности частиц субстрата. Раствор многократно используют в течение 1–2 месяцев, при этом следят, чтобы концентрация питательных веществ была не менее 50 % от исходной. Анализ раствора на содержание элементов питания растений проводят 1–2 раза в неделю. За реакцией следят ежедневно и в случае его подкисления добавляют щелочь, подщелачивания – кислоту. Через 1–2 месяца отработанный раствор удаляют из резервуара, субстрат промывают водой и готовят свежий питательный раствор. Гравий используют без смены в течение многих лет. Следует избегать применения гравия и щебня из пород, обогащенных известняком, на которых трудно удержать низкие значения pH раствора.

Пористые наполнители, керамзит и вермикулит, хорошо впитывают воду, адсорбируют питательные вещества, что позволяет значительно увеличить время между подачами раствора. Их влагоемкость исключает колебание водообеспечения и питания, тем самым предотвращая порчу опыта при временных неполадках в системе подачи питательного раствора.

Для нормального роста и развития растений субстрат должен обладать определенными свойствами. Во-первых, он не должен содержать ядовитых для растения веществ, быть относительно химически инертным и нейтральным, чтобы не изменять химических и физико-химических свойств питательного раствора. Во-вторых, субстрат должен обладать водоудерживающей способностью и быть хорошо аэрируемым (измельченные вермикулит, перлит и керамзит обладают высокой водоудерживающей способностью, а морской гравий и гранитный щебень – низкой). В-третьих, субстрат должен быть достаточно прочным. При его крошении уменьшается размер частиц и ухудшается аэрация корневой системы растений. В научных исследованиях при необходимости соблюдать особенно чистые условия вместо гравия можно применять стеклянные бусы или гранулированный полиэтилен, полистирол и другие инертные материалы. Их плотные гранулы мало прилипают к корням, что позволяет извлечь корневую систему целиком, без загрязнения субстратом. Полное извлечение корневой системы их песка даже в разорванном состоянии, пригодном только для определения сухой массы – сложная и трудоемкая работа. В почвенной культуре извлечение корней и вовсе невозможно без существенных потерь.

Питательные растворы должны содержать все необходимые для растений элементы питания в определенной концентрации и соотношении и обладать, кроме того, достаточной буферностью, т. е. не менять резко концентрацию и кислотность.

У истоков гидропонного метода стоял К.А. Тимирязев (1904), который утверждал, что "совершенно плодородную почву" можно приготовить из самых различных материалов: песка, толченой пемзы, стеклянных бус или мелкого гранита, введя в нее питательные вещества. Уже сегодня в защищенном грунте широко используется выращивание растений на искусственных средах. Гидропонный метод выращивания сельскохозяйственных культур облегчает труд в тепличном хозяйстве: не надо заготавливать почву, упрощается борьба с болезнями и вредителями растений.

Аэропоника (от греческого. *aer* – воздух и *ponos* – работа, т. е. буквально "воздушная работа", "воздушная культура") – выращивание растений без почвы или ее заменителя во влажном воздухе при периодическом опрыскивании корней питательным раствором. При использовании аэропоники имеется и необходимость и возможность почти полной автоматизации всех приемов выращивания растений. Впервые идею "воздушного" питания растений выдвинул еще на заре XX столетия В.М. Арциховский (1910).

Сущность метода *аэропоники* состоит в том, что растения выращивают на небольшом объеме гранулированного субстрата, размещенного в стакане с перфорированными стенками, корни растений проходят через отверстия и свободно свисают в светозащищенном резервуаре. Через каждые 10 мин в течение 5–7 с автоматически сверху и снизу субстрат и корни опрыскивают питательным раствором. Этот метод используют в основном при изучении газового режима корней.

Агрегатопоника – выращивание растений на твердых сыпучих материалах, которые смачивают периодически питательным раствором.

Сущность *агрегатопоники* заключается в том, что растения выращивают на гранулированных корнеобитаемых средах, в которые периодически вводят питательный раствор. Агрегатопоника включает следующие способы: органокультуры – выращивание растений на естественных органических субстратах (торф, опилки, мох); литокультуры – выращивание растений на твердых минеральных или пластмассовых субстратах, и аэрогидролитовые культуры, сочетающие положительные свойства всех трех методов культуры растений без почвы. Сюда же относят и фитильную культуру – выращивание растений на тонких гидрофильных пленках, увлажняемых за счет капиллярного поднятия в них воды и раствора.

Пластопоника – выращивание растений с помощью гидрофильного, физиологически нейтрального пенопласта, содержащего необходимые для питания растений макро- и микроэлементы или способного впитывать их.

К недостаткам пластопоники следует отнести: 1) трудность поддержания необходимого значения реакции и концентрации среды; загрязнение питательного раствора корневыми выделениями и продуктами разложения отмерших корней; необходимость полного обновления питательного раствора каждые 2–4 недели (Ефимов В.Н., Горлова М.Л., Лунина Н.Ф., 2004).

12.2.6. Полевой опыт

Полевой опыт – исследования, проводимые непосредственно в полевых условиях, на специально выделенном участке с целью установления количественного воздействия условий или приемов возделывания на урожайность и качество продукции. Объектами изучения являются растение и факторы, влияющие на рост, развитие, урожайность, а также качество продукции сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях. В

частности, в агрохимических полевых опытах изучают эффективность удобрений и химических мелиорантов на определенной почвенной разновидности, на участке выравненном по плодородию.

Полевой опыт относится к биологическим методам исследований. Его главным арбитром является культурное растение, для которого предназначаются получаемые данные. Зависимость результатов полевого опыта от конкретных почвенных и метеорологических условий, наряду с положительным моментом, является и ограничивающим его значение. Строго говоря, они применимы только к участку, на котором он проведен. Именно поэтому агрохимические полевые опыты обязательно сопровождаются сопутствующими исследованиями почв и растений. Почвенные исследования дают возможность установить типичность участка полевого опыта для определенного района или зоны, а следовательно и распространять на них полученные результаты. Химический анализ почвы и растения позволяют судить не только о конечном результате изменения питательного режима почвы, отражаемом величиной урожая, но и о самих изменениях форм и количества отдельных элементов питания растений в почве, а также о влиянии удобрений на качество урожая.

В зависимости от места постановки, цели и длительности опыта, а также размера делянок различают несколько видов полевого опыта.

Полевые опыты по месту проведения и поставленной цели подразделяют на **стационарные** и **производственные**. *Стационарные опыты* закладывают на постоянных участках землепользования научно-исследовательских учреждений. В стационарных опытах изучают: действие удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных растений; определение трансформации питательных веществ почвы и удобрений; нормы, способы и сроки применения удобрений; отзывчивость сортов на удобрения и др. Для стационарных опытов требуются создание определенного фона под опыт, обязательность учета урожайности как при прямом действии, так и в последствии удобрений, глубокие сопутствующие исследования в процессе вегетации растений. При проведении стационарных опытов обязательно: предварительное всестороннее изучение плодородия почвы; выбор участка, направления, формы делянок и числа повторений; соблюдение севооборотов, принятых в регионе. В стационарных опытах большое внимание уделяют построению схематического плана и распределению вариантов и повторностей. Границы полей стационарных опытов фиксируют реперами. Оптимальная общая площадь делянки в таких опытах 100–250 м², учетная – 80–150 м². Результаты стационарных опытов, выводы и рекомендации по ним используют в хозяйствах типичных по почвенно-климатическим и организационно-хозяйственным условиям.

Производственные опыты закладывают в условиях сельскохозяйственных предприятий. Научные учреждения в таких опытах проверяют и уточняют результаты, полученные в стационарных опытах, определяют их хозяйственную пригодность в условиях производства. Опыты, проводимые специалистами хозяйств для получения ответа на интересующий их вопрос, также относят к производственным опытам. В производственном опыте проверяются наиболее эффективные варианты стационарного опыта. Площадь делянок колеблется от 500–5000 м², в зависимости от числа вариантов. Хозяйственные опыты по инициативе специалистов могут быть заложены на делянках с любой площадью. К производственным опытам предъявляют менее строгие требования: в них до минимума сведены сопутствующие исследования, в большинстве случаев ограничиваются анализом почв до закладки опыта и

определением структуры урожайности, а иногда данными агрохимического обследования почв, проведенного в предшествующие закладке годы. Анализы растительных проб во время вегетации не проводят. Однако выбор земельного участка, фиксация границ делянок и всего опыта, внесение удобрений, обработка почвы, посев (посадка), уход за растениями должны соответствовать требованиям методики полевого опыта.

В зависимости от цели исследования, стационарные опыты подразделяют на *основные* и *предварительные* (ориентировочные, временные, летучие, рекогносцировочные).

Основные опыты проводят научные учреждения по детально разработанным программам на длительное время. В отношении методики закладки и проведения к ним предъявляют строгие требования. Обязательно всестороннее изучение почвенного покрова участка, размещение делянок на одной почвенной разности, однородной по плодородию, соблюдение севооборота, схема опыта должна обеспечивать получение высокой точности.

Предварительные опыты носят ориентировочный, вспомогательный характер. Их закладывают на небольшой срок, вне севооборота, и они служат основой для разработки схем и программ основных опытов. В них не планируют проведение сопутствующих исследований, а ограничиваются лишь данными урожайности.

Основные и предварительные опыты в зависимости от количества изучаемых факторов, подразделяются на *однофакторные* и *многофакторные*.

К *однофакторным* относят опыты, в которых изучают действие одного приема на неизменном, постоянном агротехническом фоне при строгом соблюдении принципа единственного различия. В однофакторных опытах могут изучаться виды и формы удобрений, нормы, сроки и способы внесения, отзывчивость сортов на удобрения и другие вопросы.

К *многофакторным* опытам относятся такие, в которых изучают действие двух и более факторов на урожайность культуры, например норм и сроков внесения удобрений. Схемы многофакторных опытов сложнее, чем однофакторных, при составлении их необходимо более глубокое осмысление цели и задач исследований, а также возможностей научно-исследовательских учреждений в их проведении. Многофакторные опыты позволяют учесть роль каждого приема в отдельности и при их взаимном сочетании. Результаты таких опытов бывает трудно осмыслить и систематизировать, так как число вариантов бывает в несколько раз больше, чем в однофакторных опытах.

В зависимости от длительности проведения опыты делят на однолетние и многолетние. Более удачно подразделение на *краткосрочные* и *длительные*. К *краткосрочным (однолетним)* относят опыты, в которых действие одного приема (в агрохимических – удобрений) изучают в течение одного вегетационного периода. В опытах по изучению действия удобрений на урожайность какой-либо культуры учитывают лишь в первый год и не учитывают в последствии на второй. Однолетние опыты могут закладываться в севооборотах научных учреждений и на полях хозяйств. Они сопровождаются сопутствующими исследованиями. Чтобы получить объективные данные, опыты по одной схеме и на одной почвенной разновидности необходимо проводить в течение 3–4 лет для того, чтобы оценить данные по эффективности изучаемых приемов в разных погодных условиях. В таком случае их называют однолетними в пространстве, но длительными во времени.

К *длительным (многолетним)* относят такие опыты, в которых эффективность однажды внесенных удобрений изучают в севообороте на нескольких

следующих одна за другой культурах. В таких опытах можно изучить действие одноразового внесения удобрений, либо накапливающегося действия при систематическом внесении; учитывать прямое действие (в год внесения) и последствие (на второй и последующие годы). Только с помощью длительных многолетних опытов можно выявить: последствие органических удобрений, известкования и гипсования почв, влияние окультуренности почв на эффективность удобрений, а также влияние удобрений на окультуривание самой почвы. Продолжительность многолетних опытов составляет 10–50 лет и более.

По охвату территорий полевые опыты с удобрениями подразделяют на единичные и массовые.

Единичные опыты проводят в отдельных пунктах независимо друг от друга по отдельным схемам и программам. К таким относится большинство стационарных как длительных, так и краткосрочных опытов.

Массовые опыты проводят одновременно в нескольких точках, и они объединены общей схемой. Чаще всего их называют *географическими опытами*, т. к. действие удобрений изучают в различных почвенно-климатических условиях. Основная цель их – выявление влияния природных условий на эффективность видов, форм, норм, сроков и способов внесения удобрений.

В зависимости от размера делянки различают **крупноделяночные** и **мелкоделяночные** опыты. Размер делянок в *мелкоделяночных опытах* колеблется от 1 до 20 м². Однако С.В. Щерба и Ф.А. Юдин (1975) для такого подразделения существенной считают не величину делянок, а возможность применения нормальной полевой агротехники. К мелкоделяночным относят опыты с таким малым размером делянок, который не позволяет поставить изучаемый фактор в условия нормальной сопутствующей агротехники и заставляет прибегать к искусственным приемам, которые могут существенно изменить урожайность и эффективность изучаемого фактора. Все опыты, проводимые с соблюдением нормальных условий агротехники, они относят к обычным полевым опытам, независимо от абсолютных размеров делянок. К мелкоделяночным опытам прибегают при использовании сложных схем с большим количеством вариантов. Агротехнические работы в них проводят с использованием малогабаритной техники или вручную.

12.2.6.1. Требования к полевому опыту

Отличительной особенностью полевого опыта является то, что культурное растение изучается вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических факторов. Только полевой опыт может установить связь между урожаем и средствами воздействия на него. Кроме того, вне полевого опыта невозможно изучать последствие удобрений и их применение в севообороте.

В зависимости от видов опытов объемы сопутствующих исследований, площади и формы делянок, количество повторений в пространстве и времени могут быть разными, но независимо от этого к любому полевому эксперименту предъявляется ряд основных методических требований, от выполнения которых зависит ценность полученных результатов. Важнейшие из них – типичность, соблюдение принципа единственного различия, точность количественных результатов и достоверность опыта по существу.

Под **типичностью**, или **репрезентативностью**, полевого опыта понимается соответствие условий его проведения почвенно-климатическим (природным) и агротехническим условиям того района или зоны, где предполагается использовать его результаты.

Для полевых опытов с удобрениями почвенно-климатические условия имеют исключительное значение. Учитывая разнообразие почвенного покрова, полевые опыты необходимо закладывать на типичных почвенных разновидностях с учетом гранулометрического состава, содержания гумуса, степени кислотности, обеспеченности подвижными формами питательных веществ. Чтобы соблюсти требование типичности в отношении климатических условий, опыт по одной схеме повторяют в течение 3–4 лет.

Типичность должна отвечать требованиям проведения полевого опыта при общем высоком уровне агротехники. Опыты при низком уровне агротехники не имеют производственной ценности. Часто выбор неокультуренной почвы в опытах с удобрениями не оправдан, так как не соответствует практическим условиям обычных почв. Несомненно, на бедных землях изучаемые удобрения будут более эффективны. Типичность опыта требует проведения исследования с районированными, перспективными сортами и характерными для данной зоны культурами.

Сложнее выполнить требования типичности в отношении организационно-хозяйственных и агротехнических условий, т. к. не всегда ясно, что в этом плане считать типичным. Опыты с удобрениями нельзя проводить при низкой культуре земледелия. Необходимо закладывать их в условиях научно обоснованного севооборота, учитывать предшественники, агротехнику, уровень почвенного плодородия, степень обеспеченности хозяйства навозом. Каждый полевой опыт должен давать перспективный ответ с учетом того, что когда результаты его будут внедрены в производство, будет достигнут известный прогресс в агротехнических и организационно-хозяйственных условиях зоны, района или хозяйства. Поэтому типичный агротехнический фон для опытов с удобрениями должен быть достаточно высоким. В понятие типичности входит также пригодность фона для исследования того или иного вопроса. Например, неверным и нетипичным будет изучение эффективности фосфоритной муки на почве, незадолго до этого произвесткованной.

Одним из условий методически правильно поставленного полевого опыта является соблюдение принципа *единственного логического различия*, т. е. при постановке экспериментов необходимо соблюдать единство всех условий, кроме одного – изучаемого. Цель этого требования – обеспечить сравнимость данных, полученных в разных вариантах полевого опыта. Например, при изучении норм удобрений обработка почвы, предшественник, сорт, посев и уход должны быть одинаковыми. В опытах с удобрениями соблюдение принципа единственного различия подразумевает использование одинаковых форм удобрений, а при их сравнении – одинаковых норм внесения.

Необходимо обратить внимание, что это принцип единственного *логического различия*. Формальное его соблюдение на практике приведет к заведомо неправильным методам сравнения. Например, действие азотного и фосфорного удобрений на урожай озимых формально, казалось бы, надо изучать в одинаковых условиях, при одном и том же сроке и способе применения. Однако экспериментально доказано, эффективность этих удобрений определяется сроком и способом применения. В частности, под рис азотные удобрения, а иногда и калийные, вносят до посева и в подкормку, фосфорные – до посева. Поэтому для получения достоверных данных схема опыта составляется таким образом, чтобы каждое удобрение применялось в наиболее подходящий для него срок. Это не нарушение принципа единственного различия, так как здесь вид удобрения, оптимальный срок и способ его внесения со-

ставляют единый комплекс, который и будет вариантом опыта. Сравнение вариантов, включающих комплекс условий, будет проводиться при тождестве всех прочих условий, которые не являются составными элементами сравниваемых комплексных приемов.

Точность количественных результатов – обязательное требование к качеству полевого опыта. Результат его всегда выражается количественно и служит объективным показателем эффективности изучаемого в опыте приема или фактора. В этой связи большинство исследователей выделяют такое обязательное требование к полемому опыту, как учет урожая и его качества. *Урожай и качество сельскохозяйственных растений – главный объективный показатель при характеристике изучаемых в опыте вариантов.* Величина урожая отражает и интегрирует действие на растение всех условий возделывания. Именно поэтому становится возможным количественно установить влияние изучаемых факторов. Это же в полной мере относится и к качеству урожая, для характеристики которого у различных культур существуют специфические показатели: содержание белка в зерне зерновых культур, крахмала в клубнях картофеля, сахара в сахарной свекле, длина волокна у льна и др.

Количественные результаты полевого опыта, проведенного в строгом соответствии с задачами исследования, с соблюдением требований методики и техники, всегда оказываются лишь некоторым приближенным выражением истинных результатов. Степень соответствия результатов, полученных в опыте, истинным результатам действия изучаемого приема или фактора определяет точность опыта. Чем меньше разница между результатами, полученными в опыте (учетные данные), и истинными, тем выше точность опыта и тем меньше его ошибка.

Причины расхождения фактически полученных в полевом опыте данных с истинными результатами связаны с неизбежными погрешностями, которые имеют место в любом полевом опыте. Погрешности в полевом опыте возникают по различным причинам. Различают три вида ошибок – случайные, систематические и грубые. **Ошибка – это расхождение между результатами выборочного наблюдения и истинным значением измеряемой величины.** Оценка истинного значения результативного признака, например урожая, по полученным в полевом опыте данным является одной из основных задач математической статистики. Чтобы правильно решить эту задачу, необходимо знать основные свойства ошибок и причины их возникновения.

Случайные ошибки – это ошибки, возникающие под воздействием очень большого числа таких факторов, эффекты действия которых столь незначительны, что их нельзя выделить и учесть в отдельности. Возникают они при выполнении различных измерений и учетов: разбивке делянок, взвешивании удобрений перед их внесением и конечного урожая, анализе структуры. Наиболее существенные ошибки обусловлены невыравненностью исходного почвенного плодородия опытного участка, различным рельефом участка, а также невозможностью достичь абсолютно равномерной обработки почвы, внесения удобрения, размещения семян и т. п. Снизить влияние этих ошибок можно путем варьирования формы, величины и расположения делянок, а также правильным выбором необходимой в опыте повторности. Характерная особенность случайных ошибок – их тенденция взаимно погашаться в результате приблизительно одинаковой вероятности как положительных, так и отрицательных значений, причем малые значения встречаются чаще, чем большие. Благодаря такой тенденции к взаимному погашению разнонаправ-

ленных случайных ошибок при обобщении данных и выведении средних показателей погрешности уменьшаются по мере увеличения числа наблюдений.

Систематические ошибки искажают измеряемую величину в сторону преувеличения или преуменьшения в результате действия вполне определенной постоянной причины. Чаще всего систематические ошибки возникают вследствие неточности применяемых инструментов и приборов. Основную особенность систематических ошибок составляет их однонаправленность, т. е. они завышают или занижают результаты опыта. Это приводит к тому, что такие ошибки в отличие от случайных не имеют свойства взаимопогашения и, следовательно, целиком входят как в показания отдельных наблюдений, так и в средние показатели.

Грубые ошибки, или промахи, возникают чаще всего в результате нарушения основных требований к полевому опыту, недосмотра или небрежного и неумелого выполнения работ. Например, исполнитель опыта по небрежности дважды внес удобрение на одну и ту же делянку, допустил огрехи и просевы, перепутал делянки при взвешивании урожая, неправильно записал его массу. Кроме того делянки могут быть затоплены водой или повреждены скотом и т. д. Ни при каких условиях подобные ошибки не могут быть компенсированы. Для устранения их влияния на результаты опыта чаще всего применяют выбраковку некоторых делянок или выключку частей делянок, подвергшихся повреждению. Избежать грубых ошибок можно продуманной, тщательной организацией и проведением полевого опыта.

Для установления точности полевого опыта результаты его математически обрабатывают с использованием методов вариационной статистики. Точность полевого опыта характеризуют значением случайной ошибки средней, выраженной в процентах от среднего урожая по всему опыту (или по отдельному его варианту), которую вычисляют по формуле:

$$P = t \ 100/M,$$

где: t – средняя арифметическая ошибка,
 M – средняя урожайность.

Требование к точности полевого опыта зависит от задач и темы опыта, вида эксперимента, а также величины ожидаемого эффекта. От стационарных, основных и длительных опытов требуется более высокая точность, чем от исследований рекогносцировочных, краткосрочных, проводимых в условиях производства. Если в полевом опыте при изучении эффективности различных видов удобрений ожидаются большие прибавки урожая, то требования к точности могут быть меньшими, чем тогда, когда приходится устанавливать небольшие различия в вариантах опыта, например, при сравнении различных форм удобрений. Точность опыта может варьировать от 3–4 до 8–10 %.

Полевой опыт должен отвечать требованиям достоверности. Принято различать *достоверность полевого опыта по существу* и *достоверность* или *существенность результатов полевого опыта*

Под **достоверностью полевого опыта по существу** понимают его соответствие поставленным задачам исследования. Для такой оценки проверяют правильность схемы опыта, данных сопутствующих наблюдений и исследований, результатов учета урожая. Оценивают соответствие методики опыта задачам исследования, тщательно анализируют методику и технику проведения полевого опыта. Если полевой опыт проведен методически и технически

доброкачественно и нет оснований для выбраковки полученных в нем данных, результаты его подвергают математической обработке для установления величины случайной ошибки и степени точности, а также достоверности, или существенности, полученных результатов.

Под **достоверностью (существенностью) результатов** понимают математическую (статистическую) доказанность получаемой в опыте разницы в урожаях (или других показателях) сравниваемых между собой вариантов опыта. Статистическая обработка результатов полевого опыта позволяет определить границы возможных случайных отклонений полученных данных и установить наличие существенных различий между средними урожаями по вариантам опыта.

Достоверность результатов и точность опыта – понятия тесно связанные, но не идентичные. Различие между точностью и достоверностью результатов опыта проиллюстрируем на конкретном примере. Так, при изучении эффективности различных норм борных микроудобрений не было обнаружено заметных различий между вариантами по урожайности, несмотря на высокую точность опыта. Обнаруженные различия оказались значительно меньше, чем средняя ошибка опыта. Полученный в опыте результат математически недостоверен, находится в пределах возможной ошибки опыта. В другом опыте, где изучалось действие микроудобрения, ошибка опыта была сравнительно высокой, но прибавка урожая по сравнению с неудобренным контролем во много раз превосходила вычисленную среднюю ошибку опыта. Таким образом, при меньшей точности опыта получена математически доказанная достоверная прибавка урожая.

Статистическая обработка результатов полевого опыта имеет чрезвычайно большое значение; однако нужно ясно представлять себе, что она дает лишь объективную оценку точности опыта, но не повышает сама по себе эту точность, всецело зависящую от методики постановки и тщательности проведения опыта.

12.2.6.2. Методика и техника проведения полевого опыта

Планирование исследований – наиболее ответственный этап в работе исследователя. Начинается планирование эксперимента с выбора темы и определения задач и объекта исследования. Затем изучается и критически анализируется современное состояние вопроса, на основании чего формулируется рабочая гипотеза, составляется программа исследования, выбираются методики.

Выбор темы. Перечень проблем, над решением которых работают ученые-агрохимики, обширен. Выбор темы определяется интуицией ученого и потребностью сельскохозяйственного производства. Для удачного планирования эксперимента тема должна быть четко сформулированной, т. е. поставлена задача исследований и определены объекты.

Изучение состояния проблемы. Для того, чтобы изучаемые вопросы не дублировались, не повторялись, необходимо изучить научную литературу по данному вопросу и провести патентные исследования. Знание литературы по данному вопросу дает возможность создать рабочую гипотезу, разработать программу и методику исследования.

Создание рабочей гипотезы. Формулируется положение, на котором будет основываться объяснение ожидаемых в поставленном опыте результатов.

Рабочая программа. В программе намечают способы проверки рабочей гипотезы. *Программа исследования* – это проект намеченного пути эксперимента. В программе четко формулируются цель и задачи исследований, представляют схемы опытов, описывают условия и методику их проведения, приводят перечень всех наблюдений, учетов и анализов с указанием методики и

сроков их выполнения. Программа исследований составляется на весь период их проведения с детализацией по годам. В процессе реализации программы исследований, особенно при длительных экспериментах, может возникнуть необходимость в ее дополнении или частичном изменении. Все произведенные изменения должны быть тщательно документированы.

Основные элементы методики полевого опыта. Под методикой полевого опыта подразумевают совокупность слагающих его элементов: число вариантов, площадь делянок, их форму и направление, повторность, систему размещения повторений, делянок и вариантов на территории, метод учета урожая и организацию опыта во времени.

Полевой опыт всегда закладывается по определенной схеме.

Схема полевого опыта – совокупность всех вариантов, входящих в опыт и сравниваемых между собой. Каждый из них характеризуется видоизменением того фактора, который изучается в данном опыте. Примером простейшей схемы опыта может быть схема из двух вариантов; например, первый вариант – без удобрений, второй – с удобрением. Правильно составленная схема, соблюдающая принцип единственного различия и тождества прочих условий, позволяет оценить каждый вариант опыта и сравнить их между собой. Составление схемы полевого опыта является наиболее ответственной задачей, которую приходится решать экспериментатору. Схема опыта определяется целью и задачами исследований.

Вариант опыта – определенная совокупность приемов возделывания растений, осуществляемая на одной делянке или на нескольких так называемых повторных делянках. Вариант – это определенный вид или градация изучаемого в опыте фактора воздействия. В зависимости от содержания опыта в число всех вариантов обязательно включают один или несколько вариантов в качестве единиц сравнения, которые называют контрольными (стандартными) вариантами, или контролями. Они позволяют определить степень чувствительности растений к изучаемому в опыте фактору. Контрольным вариантом следует брать оправдавший себя на практике прием, с тем, чтобы при исследовании изыскать еще более лучший. Варианты опыта размещаются на делянках опытного участка по определенному плану.

Количество вариантов в схеме любого опыта определяется его содержанием, целью и задачами. Число вариантов и способ их размещения на площади могут влиять на точность опыта, т. к. при прочих равных условиях опыт с большим числом вариантов будет занимать большую площадь, что увеличивает возможность ошибок и погрешностей, связанных с территориальной изменчивостью плодородия почвы. При планировании эксперимента надо стремиться, чтобы в опыте было не более 12–16 вариантов. Опыт с большим числом вариантов требует, как правило, более сложных методов постановки. Если вариантов мало, то требуется более высокая повторность, чтобы иметь достаточное число наблюдений для правильной оценки ошибки опыта.

Повторность опыта в пространстве называют число одноименных делянок каждого варианта. Часть площади опытного участка, занятую полным набором делянок всех вариантов схемы опыта, расположенных рядом друг с другом, называют *повторением* опыта. Необходимое число повторений в опыте зависит от типичности условий, пестроты участка и требуемой точности эксперимента. Пестроту почвенных условий земельного участка устанавливают по данным дробного учета или глазомерной оценки уравнительного посева. При увеличении повторности, особенно до 4–6-кратной, заметно

снижается ошибка опыта; дальнейшее повышение повторности сопровождается менее значительным уменьшением ошибки. Увеличение числа повторных делянок ошибку опыта снижает значительно, чем увеличение площади делянки. Эффективность повторности особенно четко проявляется, если целые повторения, т. е. весь набор изучаемых вариантов опыта, располагать в пределах даже сильно различающихся, но достаточно однородных внутри себя частей земельного участка.

Опытная делянка – элементарная составная часть опытного участка определенного размера и формы, на которой осуществляются все изучаемые приемы возделывания растений согласно какому-нибудь одному из вариантов схемы опыта. В делянке различают площади: посевную (делянка в целом) и учетную, которую учитывают при изучении опытного варианта. Размеры делянок в конкретных условиях полевого опыта зависят от характера изучаемого вопроса, степени пестроты почвенного покрова, особенности агротехники, машин и орудий, применяемых в эксперименте.

Блок – часть площади участка полевого опыта, поделенного на делянки, на котором размещают варианты схемы опыта случайными методами. Блок может быть полным, тогда он равнозначен повторению, или неполным – когда в блок входит лишь часть вариантов, в последнем случае несколько блоков составляют одно повторение.

Выбор участка. При выборе участка для закладки полевого опыта необходимо чтобы он соответствовал тем условиям, в которых предполагается использовать результаты опыта: свойствам и плодородию почв, рельефу местности распространенных в данном районе, т. е. быть *типичными* и *репрезентативными*. Второе требование к опытному участку – *однородность его почвенного покрова*, обеспечивающая достаточную точность результатов опыта.

Рельеф. Наличие ровной поверхности – одно из основных условий пригодности участка для опыта. Однако в некоторых регионах найти такой участок затруднительно. Поэтому не только трудность выбора участка, не имеющего склона, но и соображения типичности допускается наличие на опытном участке умеренного склона (2,5 м падения на погонную длину 100 м). Склон должен быть односторонним и равномерным по крутизне, не иметь участков, обращенных к различным сторонам света и особенно замкнутых понижений, т. е. западин, блюдца. При расположении опытного участка на склоне делянки располагают длинными сторонами вдоль склона, с тем чтобы каждая делянка по возможности полно и одинаково с другими охватывала разнообразие условий в разных частях склона. Эти требования к рельефу не относятся, конечно, к тем случаям, когда влияние рельефа само собой является предметом изучения (опыты по изучению влияния склонов различной крутизны и экспозиции, опыты по изучению влияния эрозии).

Почва. Почвенное обследование опытного участка может иметь двоякую задачу: а) дать почвенную характеристику участка в целом для того, чтобы сделать возможным перенесение результатов опыта на сходные почвы; б) помочь наилучшим образом расположить опыт, разместив его целиком в пределах одной почвенной разновидности или, при невозможности этого, в пределах комплекса наиболее близких разновидностей при условии возможного однообразия этого комплекса для всех вариантов опыта (Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

Делянки опыта необходимо располагать в пределах одной почвенной разновидности. Если этого добиться невозможно (при большой пестроте почвенного покрова) приходится ограничиваться лишь требованием отсутствия в

пределах размещения опыта резко различных почвенных разновидностей. Делянки располагаются таким образом, чтобы каждая из них охватывала весь комплекс почвенных разновидностей, представленных в пределах размещения опыта. Легче всего это достигается при делянках вытянутой формы.

История опытного участка. Необходимо убедиться, что на всем участке в течение последних 3–4 лет высевали одну культуру в соответствии с севооборотом, применяли единую систему удобрений и обработку почвы. Однообразными должны быть те агротехнические приемы, которые резко и на длительный период изменяют плодородие почвы – известкование, систематическое внесение минеральных и органических удобрений, углубление пахотного слоя, дренаж, посев бобовых культур. При наличии сведений о применении одного из этих приемов на какой-то части участка нельзя использовать его под закладку опыта без предварительного дробного учета урожайности, хотя бы со времени применения этого приема прошло и более 2 лет.

Участок, отводимый для размещения опыта, не должен иметь сильной и неравномерной засоренности, особенно с явно выраженными пятнами злостных сорняков, следами земляных работ, засыпанных ям и канав, раскорчевок и крупных пней, остатков от строений, бывших токов, стоянок скота, мест вывозки и хранения навоза, бывших грунтовых дорог. Не следует располагать опытный участок вблизи водоемов, древесных насаждений, построек, изгородей, которые создают неравномерность освещения вследствие затенения, неодинаковые условия влажности почвы и воздуха из-за повышенного испарения или излишнего накопления снега, задержки ветра, а также возможности повреждения и засорения опыта. Он должен находиться на расстоянии не менее чем 200 м от водоемов, 40–50 м от сплошного леса и отдельных построек, 25–30 м от отдельных деревьев и 10 м от плотных изгородей. Во избежание повреждений опыта и влияния на него дорожной пыли участок размещают на расстоянии 10–20 м от проезжей дороги и изолируют засеянной защитной полосой.

Изучение истории опытного участка диктуется также необходимостью иметь характеристику типичности участка – природной (рельеф, почвенно-генетические особенности) и хозяйственной (степень окультуренности, обеспеченность усвояемыми формами питательных веществ, реакция почвы). Следует подчеркнуть, что стремление к однородности участка, в районах с высокой пестротой почвенного покрова, нарушает требование к типичности. Однако участок, полностью удовлетворяющий требованиям типичности, может не вполне обеспечивать требуемую точность опыта. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо согласовывать требования типичности и точности, поступаясь, в допустимых пределах, либо типичностью условий, либо точностью результатов.

Для характеристики опытного участка необходимо провести его геодезическое, почвенное и хозяйственное обследование. Почвенная карта, результаты химических анализов почвы, нивелировочный план, хозяйственная история поля, а в некоторых случаях (целина или залежь) карта распределения естественной растительности позволяют путем их сопоставления установить степень пестроты почвенного покрова и составить план расположения полевого опыта на определенном участке, наметить величину, форму и расположение делянок и размещение повторений.

Подготовка участка. Подготовка участка включает две самостоятельные задачи: выравнивание неодинакового плодородия участка при помощи одно-

го или нескольких сплошных по всему участку, так называемых *уравнительных* посевов и изучение распределения на площади участка исходной пестроты почвенного плодородия путем дробного учета *рекогносцировочных* или *разведочных* посевов.

Уравнительные посе́вы – сплошной посев какой-либо культуры, проведенный на всей площади выбранного участка с целью выравнивания плодородия почвы. От обычного хозяйственного посева он отличается тем, что обработку почвы, внесение удобрений, агротехнические приемы по уходу за растениями проводят на более высоком агротехническом уровне, тщательно и однообразно. Уравнительные посе́вы хорошо устраняют почвенную пестроту, обусловленную предшествующей историей участка. Менее выражено их положительное действие в отношении пестроты, обусловленной природными факторами – рельеф, почва. Кроме выравнивания пестроты участка, уравнительные посе́вы позволяют создать фон для проведения опытов с удобрениями, способствуя в зависимости от поставленной задачи как повышению окультуренности, так иногда и понижению исходного плодородия. Для достижения этих целей уравнительные посе́вы могут продолжаться несколько лет и включать самые разнообразные культуры. Возможно создание специальных подготовительных севооборотов или звеньев севооборота. В этих севооборотах могут вноситься, в зависимости от исходного и создаваемого уровня плодородия, навоз или минеральные удобрения или, наоборот, севообороты могут проводиться в течение ряда лет без всякого удобрения.

Уравнительный посев необходимо систематически тщательно осматривать для исключения на основании глазомерной оценки условий развития растений из опытного участка тех мест, которые отличаются большой пестротой. В некоторых случаях, когда этого требуют условия проведения опыта, последний уравнительный посев можно совместить с рекогносцировочным, подвергнув его дробному учету.

Некоторые случаи специальной подготовки участка. Приемы такой подготовки определяются особенностями участка или задачами опыта. Так, для опытов с орошаемыми культурами для которых необходимым приемом подготовки является планировка участка, обеспечивающая равномерность орошения делянок и возможность тщательной регулировки и учета распределения воды между делянками. В районах избыточного увлажнения необходимым приемом подготовки некоторых участков под опыты будет их осушение при помощи открытых каналов или закрытого дренажа (гончарных труб и других типов дрен). Устройство осушительной системы должно быть точно и тесно увязано с предполагаемыми величиной, формой и направлением делянок, с тем, чтобы избежать различного влияния дрен или канав на отдельных делянках. С этой целью делянки желательнее вытягивать поперек дрен, под каждой делянкой должно проходить по одной или по одинаковому числу дрен (или они должны проходить по границам делянок). При осушении открытыми канавами последние должны быть расположены так, чтобы все делянки одинаково примыкали к канавам своими узкими концами.

Рекогносцировочные посе́вы и дробный учет. Рекогносцировочный посев – это сплошной посев какой-либо культуры на участке, предназначенном для опыта, с целью выявления пестроты почвенного плодородия дробным учетом урожая. Чаще всего рекогносцировочный посев совмещают с последним уравнительным посевом (Юдин Ф.А., 1980). Для рекогносцировочных посевов чаще всего используют зерновые культуры, но это могут быть и корне-

плоды или картофель. Из зерновых удобнее для дробного учета яровые культуры (овес), так как на пестроту стояния озимых накладываются, помимо плодородия почвы, условия перезимовки. Сущность дробного учета заключается в том, что урожайность культуры учитывается по отдельным, возможно более мелким, площадкам. Таким способом устанавливается пестрота плодородия внутри опытного участка.

Величина элементарных делянок дробного учета зависит от культуры, метода учета и технических возможностей опытного учреждения. Чем меньше делянки дробного учета, тем детальнее охватывают они пестроту участка и тем более гибко и разнообразно их можно комбинировать при проектировании величины, формы и расположения опытных делянок. При небольших площадях, подлежащих учету, и значительной пестроте участка можно рекомендовать размер элементарной делянки в 10 м². При более крупных и более однородных площадях и при возможности постановки опытов на больших делянках (несколько сот квадратных метров) можно допустить и более крупные делянки дробного учета.

Техника дробного учета. Площадь рекогносцировочного посева необходимо разбить на элементарные участки. Способ и время разбивки определяется культурой – для пропашных их выделяют перед уборкой простым отсчетом борозд и растений в рядах, для зерновых желательнее это сделать до выхода растений в трубку. Учетные делянки разбивают кольщиками и ограничивают бороздками шириной 10–20 см, проведенными ручным планетом или мотыгой, натянутой проволокой или шпагатом. Уборку осуществляют вручную или малогабаритной техникой. Особенно удобны для этого самоходные комбайны. Вначале участок обкашивают для придания ему прямоугольной формы. Вдоль длинной стороны натягивают веревку, по которой идет маркер или колесо. Ширина учетной делянки определяется шириной захвата жатки. Длина зависит от пестроты участка и требуемой точности. Урожай каждой делянки учитывают отдельно.

Использование данных дробного учета. Непосредственные результаты взвешивания наносят на план. Для этого весь цифровой материал разбивают на группы с интервалами 0,5–1,0 кг и для каждой группы подбирают определенную интенсивность окраски (обычно более темную с повышением урожая), которой и закрашивают на плане каждую ячейку, соответствующую элементарной делянке. Такой план позволяет довольно хорошо ориентироваться в характере пестроты участка и выделить в его пределах более однородные площадки и, наоборот, выключить резко отличающиеся пятна. Легче судить о характере и степени пестроты участка, построив кривую Гаусса. Чем больше она, отклоняется от нормальной кривой Гаусса, тем более необходима выбраковка отдельных частей участка. Бывают случаи, когда целесообразно его разделение на несколько самостоятельных частей.

Затем необходимо установить форму и размер опытной делянки, а также число повторений, при которых в наибольшей степени погасалась бы пестрота элементарных делянок. Для этого эмпирически комбинируем элементарные делянки по две, три и т. д. и суммируем их урожаи. Вычисляем среднюю квадратическую ошибку (m) для элементарной делянки и для комбинированных делянок разной величины по формуле $m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, где σ среднее квадратическое отклонение, n – число повторений. Пользуясь этой же формулой,

вычисляют число повторений, необходимое для того, чтобы ошибка опыта при данном размере делянок не превосходила заданной величины: $n = \left(\frac{\sigma}{m}\right)^2$.

Все эти предварительные вычисления позволяют при минимальной затрате площади заложить опыт с заранее определенной точностью.

Таким образом, данные дробного учета дают возможность выбирать для опытов наиболее однообразные по плодородию участки и даже приближенно предсказывать точность будущих опытов.

Необходимо отметить, что отсутствие дробного учета рекогносцировочного посева не может служить препятствием применению правильной методики полевого опыта. Из-за чрезвычайной трудоемкости и громоздкости этой работы, многие исследователи высказывают сомнения в целесообразности новых дробных учетов. Для оценки пригодности участка для закладки полевого опыта бывает вполне достаточно провести почвенное обследование и нивелировку, изучить историю поля и дать визуальную оценку изменчивости плодородия на уравнительном или хозяйственном посеве. Часто вместо дробного учета рекогносцировочного посева выгоднее при постановке опытов с однолетними культурами на новых землях увеличить повторность, а затем по результатам первых экспериментов судить о пестроте почвенного плодородия поля и устанавливать необходимую повторность для последующих опытов (Доспехов Б.А., 1979).

Размещение опыта на участке. Основной задачей размещения опыта на участке является возможное уменьшение различий в исходном плодородии сравниваемых делянок, вызванных пестротой участка. Пестроту опытного участка, обусловленную микрорельефом, мелкими изъятиями агротехники, неравномерностью предшествующего распределения удобрений можно нивелировать величиной отдельной делянки. Если неоднородность участка вызвана расчлененностью макрорельефа, различными предшествующими культурами и разным естественным плодородием, то их элиминирование (устранение) достигается путем размещения на них делянок и повторения опытов.

Величина делянки. Размер делянок определяется назначением и задачами опыта, культурой, степенью и характером пестроты почвенного покрова, агротехникой и применяемыми орудиями и машинами.

Повышение точности опыта (уменьшение ошибки) с увеличением площади делянки идет не пропорционально этому возрастанию, а постепенно снижаясь. За известным пределом увеличение площади делянки может привести к понижению точности, т. к. возрастает общая площадь, занятая опытом, что приводит к увеличению неоднородности участка. Перекрыть макропестроту почвы увеличением размера делянки практически невозможно. На основании большого числа дробных учетов рекогносцировочных посевов установлено, что точность опыта повышается по мере увеличения площади делянки примерно до 100 м².

Выбор площади делянки связан с возможностью и удобством проведения на ней необходимых сельскохозяйственных работ, прежде всего обработки почвы. Обычно для полевого опыта проектируют величину делянки, равную минимальной площади, обеспечивающей необходимую точность опыта и допускающей проведение всех работ по опыту, включая учет урожая с максимальной механизацией. Предел, меньше которого не должна быть площадь делянки, зависит от возможности соблюдения нормальной агротехники возделываемой культуры с использованием требующихся для нее сельскохозяйственных машин и орудий.

Размер делянок зависит также от биологических особенностей изучаемой культуры. Чем больше растений произрастает на единице площади, тем меньшего размера приемлемы делянки. В связи с этим площадь делянок при изучении культур сплошного сева меньше, чем пропашных. Величина делянки будет изменяться в зависимости от тематики опыта. Если обработка, посев и уход проводятся однородно на всем участке, то они могут быть меньшего размера, чем в случае, когда по характеру темы каждую делянку обрабатывают, засевают и ведут на ней уход за посевами отдельно (изучение способов внесения удобрений, эффективность рядкового удобрения, подкормок во время вегетации пропашных культур).

Многолетние опыты закладывают на делянках большей площади, чем однолетние, т. к. в длительных опытах может возникнуть необходимость разделения делянок на части для введения дополнительных вариантов или наложения нового фона на имеющиеся варианты.

Необходимость проведения всех работ по опыту, связанных с закладкой, посевом, уходом (прополка, подкормка, полив), одновременно и на высоком уровне агротехники, а также строгий учет урожая в короткие сроки ограничивает возможность увеличения площади делянки сверх оптимальной, обеспечивающей требования точности и типичности опыта. Кроме того, расширение размера делянки неоправданно, т. к. приводит к большому расходу удобрений, семян, дополнительным затратам труда, что значительно удорожает опыт.

Учитывая все отмеченное выше и на основании многолетней практики научных учреждений, опыты с удобрениями рекомендуется закладывать на делянках 50–100 м² для растений сплошного посева и 100–200 м² для пропашных культур. В опытах с отдельной обработкой и посевом каждой делянки, с механизированным внесением удобрений площадь делянки увеличивается до 300 м², иногда и больше; в многолетних опытах рекомендуются делянки от 200 до 300 м²; в лабораторно-полевых опытах, где соблюдение типичности в производственном отношении не обязательно, при применении конной обработки для культур сплошного посева размер делянки может быть 20–25 м², а при ручной обработке и еще меньшим. Отсутствие специальных малогабаритных машин и орудий заставляет увеличивать делянки, что нежелательно, так как снижается качество работы. Указанные размеры примерные, они требуют уточнения в каждом отдельном случае (Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

Защитные полосы. Различают боковые и концевые защитные полосы. *Боковые* защитные полосы выделяют вдоль длинных сторон делянок для исключения влияния растений соседних вариантов и краевых эффектов. Обычно их ширина колеблется в пределах 0,5–1,5 м, но может быть и несколько больше. В любом случае они должны позволять полностью исключить любое влияние соседних вариантов. *Концевые* защитные полосы шириной не менее 2 м выделяют для предохранения учетной части делянки от случайных повреждений. При механизированной закладке опыта, уходе за растениями и уборке необходимо выделять защитные полосы для разворота техники.

Форма делянки. Форма делянки имеет исключительное значение, особенно в условиях почвенной пестроты опытного участка, т. к. влияет на точность опыта. Наиболее точно выбрать форму делянки можно, используя данные дробного учета урожая рекогносцировочного посева. Если таких данных нет, или же опыт закладывается полях научных учреждений, имеющих незначительную почвенную пестроту, необходимо руководствоваться следующими положениями.

Вытянутая форма делянки обеспечивает обычно большую точность опыта, так как чем длиннее делянка, тем полнее она охватывает пестроту участка.

Они должны быть вытянуты в направлении изменения свойства участка. Так, при закладке опыта на склоне делянки обязательно должны быть вытянуты вдоль склона, равномерно захватывая все его части. При наличии на участке каких-либо полос различного плодородия делянки должны располагаться поперек этих полос. Вытянутую форму делянки следует предпочесть, если обрабатывают и засевают каждую делянку отдельно. В таких случаях вытянутые делянки располагаются в один ряд, чтобы машины могли делать развороты за пределами делянки для перехода на следующие повторения. Ширина делянки определяется изучаемой культурой и средствами механизации. При рядковом посеве ширина делянки должна быть кратной ширине междурядий.

Недостаток делянок вытянутой формы, у которых отношение длины к ширине более 10, – их большой периметр и, следовательно, защитные полосы занимают большую площадь. Поэтому при ограниченной площади участка и малых размерах делянок (меньше 50 м²) им следует придавать форму, близкую к квадрату, а повышения точности опыта добиваться увеличением повторности. Считаются приемлемыми такие величины и формы делянок, при которых на защитные полосы приходится около 25% площади опытного участка.

Повторность. Наиболее действенным способом повышения точности опыта является введение нескольких повторных делянок для каждого варианта схемы. Повторные делянки можно рассматривать как части одной более крупной делянки, но размещенные в различных местах опытного участка. Такое размещение дает возможность более полно охватить каждым вариантом всю пестроту участка. Поэтому при одинаковом увеличении суммарной площади, нужной для одного варианта, введение повторных делянок при увеличении их числа дает большее повышение точности, чем соответствующее увеличение площади одной делянки. Кроме того, присутствие в опыте нескольких делянок для каждого варианта дает возможность количественно определить эту точность. Повторность одноименных делянок нужно считать обязательной для всякого полевого опыта.

Необходимая повторность должна устанавливаться для каждого конкретного случая и участка в зависимости от его пестроты. Лучше всего руководствоваться при этом данными дробного учета урожайности, на основании которых находят коэффициент вариации (V , %). Исследователь сам выбирает точность опыта (m , %), которую он рассчитывает получить (при этом считается, что разницы в урожаях меньше 5 % полевым опытом не улавливаются)

и необходимое число повторений (n) вычисляют по формуле $n = \left(\frac{V}{m}\right)^2$.

Например: по данным дробного учета урожайности для делянок площадью 100 м² вариационный коэффициент составляет 10 %. Чтобы провести опыт с точностью 5%, необходимо иметь повторность будущего опыта – $n = (10:5)^2 = 4$.

При отсутствии данных дробного учета урожайности рекогносцировочного посева руководствуются опытом работы на сходных площадях и следующими соображениями.

В стационарных условиях, как правило, полевые опыты не закладывают с повторностью меньше, чем 4-кратная. Большинство полевых опытов при размерах делянок 50–100 м², а иногда и больше ставят в 4-кратной, реже в 6-кратной повторности; это дает возможность иметь точность опыта около 2–4%. При постановке опытов на делянках 20–10 м² повторность повышают до 6–8-кратной. Минимальная повторность – 2-кратная. Ее недостатком, даже когда она обеспечива-

ет необходимую точность опыта, является риск выпадения одной делянки по случайным причинам, что ведет к выбраковке из опыта всего варианта. Кроме того, при значительном расхождении результатов двух параллельных делянок невозможно судить о том, какой из результатов ближе к истинной величине урожая: отсюда желательно иметь, как минимум, 3-кратную повторность. 2–3-кратная повторность применяется в предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытах, а также в производственных опытах на площади делянки свыше 1000 м² (Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

При установлении повторности надо также учитывать технические возможности проведения опыта. Большое число повторений может не позволить выполнить все работы по закладке и проведению опыта одновременно на всем участке, а также значительно увеличит затраты материально-технических средств. Увеличение повторности, а следовательно, и количества делянок значительно усложняет работу.

Расположение опыта. Способы расположения повторений и вариантов в опыте преследуют цель охватить каждым вариантом более полно пестроту почвенного плодородия опытного участка, создать условия наилучшей сравнимости между вариантами. Это обеспечивает большую репрезентативность и точность опыта, повышает достоверность его результатов. Выбор способа размещения повторений в пространстве опытного участка зависит от величины и степени пестроты почвенного плодородия, числа вариантов, площади делянок. Необходимо учитывать и технические условия постановки и проведения опыта.

Различают два способа размещения опыта: **методом неорганизованных повторений** или **полной рендомизацией** и **методом организованных повторений**.

При использовании метода неорганизованных повторений или полной рендомизации опыт размещается без территориального объединения делянок в повторения. Этот метод не имеет широкого распространения, т. к. нет достаточно больших участков однородных по почвенным условиям. Это послужило основой для введения другого метода (рис. 106).

2	1	3	2
1	3	2	1
3	2	1	3

Рис. 106. Схема расположения 3-х вариантов в 4-х повторностях методом полной рендомизации

Метод организованных повторений предполагает объединение делянок в повторения и их компактное размещение. Применяют два способа размещения организованных повторений: сплошное и разбросное. При **сплошном** размещении все повторения располагают компактно на одном участке, в один, два и несколько рядов, имея общие границы между отдельными повторениями. При **разбросном** размещении отдельные повторения по одному или по несколько размещены на отдельных опытных участках, разбросанных по разным частям одного поля или даже находящихся на разных полях. При таком расположении повторений варьирование плодородия разных повторений должно быть независимым друг от друга. Разбросное расположение повторе-

ний чаще всего вызывается отсутствием однородного опытного участка достаточного размера для сплошного размещения всех повторений опыта (рис. 107). Иногда разбросное расположение может диктоваться целью и задачами эксперимента. Например, при изучении влияния предшественников на эффективность удобрений, или когда необходимо оценить эффективность удобрений при широкой амплитуде почвенных и агротехнических условий.

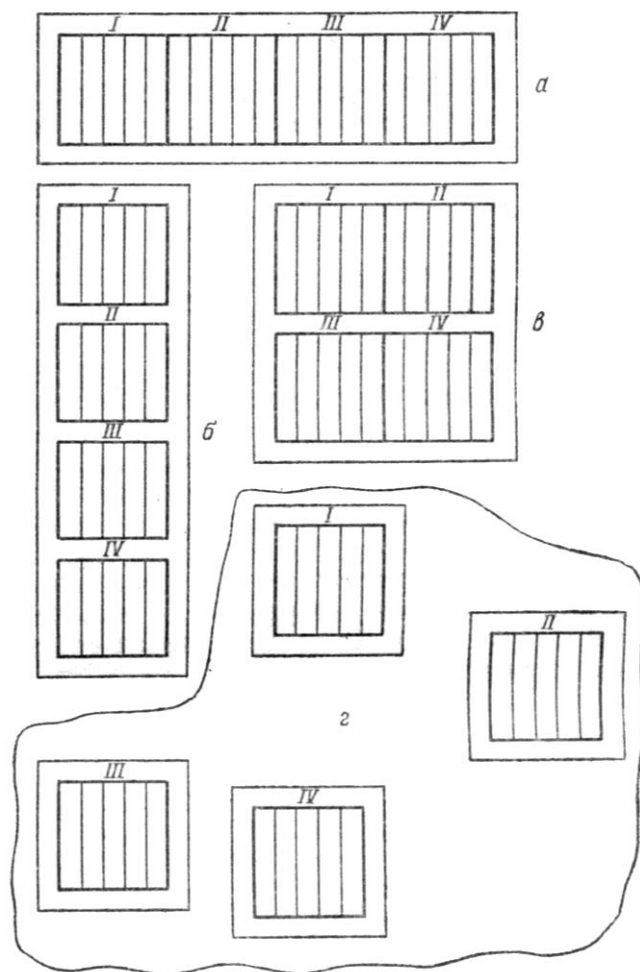


Рис. 107. Способ размещения на участке опыта с 4-мя повторениями и 5-ью вариантами:

a, б, в – сплошное, *г* – разбросное

Размещение вариантов в полевом опыте. Расположение вариантов на делянках внутри повторности также важно для соблюдения требований к эксперименту. Наиболее удачным можно считать такое их расположение, при котором достигается наиболее высокая точность опыта. Различают стандартное, систематическое и случайное (рэндомизированное) размещение (рис. 108; Доспехов Б.А, 1979).

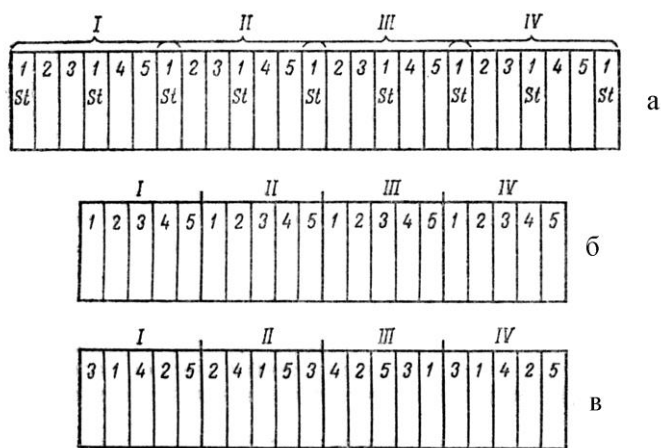


Рис. 108. Размещение 5 вариантов по делянкам 4-х повторений:
а – стандартное, б – систематическое; в – рендомизированное

Стандартные методы расположения характеризуются увеличенным числом контрольных (стандартных) вариантов в каждом повторении и способом вычисления прибавок. Стандартные методы очень просты и были предложены в качестве способа устранения влияния пестроты почвенного плодородия (рис. 109; Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

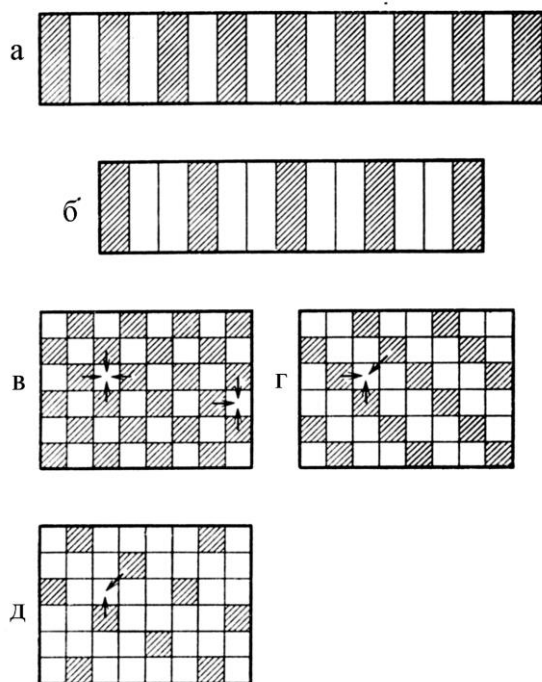


Рис. 109. Схемы стандартных способов расположения контрольных (стандартных) и опытных вариантов (заштрихованные клетки) на делянках опыта:
а – ямб-метод; б – дактиль-метод; в – в шахматном порядке; г – метод измерительных делянок;
д – по ходу шахматного коня

Различают несколько стандартных методов расположения вариантов на делянках повторения. Если контрольные (стандартные) делянки размещены через одну изучаемую делянку, то такой метод называют **ямбическим** или ямб-методом; через две – **дактилическим** или дактиль-методом. В этих методах прибавки урожая вычисляют для каждой изучаемой делянки, сравнивая со своим контролем, который определяется как среднее из двух соседних контролей для ямб-метода или по интерполяции между соседними контролями для дактиль-метода.

При многорядном расположении опыта контрольные делянки размещают в **шахматном** порядке. В этом случае контроли (стандарты) размещены в ряду через одну делянку и сдвинуты на одну в каждом следующем ряду. Шахматный способ расположений дает очень высокую точность определения прибавок, так как каждая изучаемая делянка сравнивается со средним из четырех или трех контролей. Этот прием чаще используют в мелкоделяночных опытах, потому что он требует значительного числа добавочных делянок. **Метод измерительных делянок** Гольстмарка и Ларсена отличается от шахматного расположения тем, что в каждом ряду контроль (или стандарт) помещен через две изучаемые делянки. Сравнение ведут со средним из трех соседних контролей, два из которых соприкасаются с изучаемой делянкой сторонами, а третий – лишь углом. Следует отметить еще способ размещения повышенного числа контролей при многорядном расположении опыта, по **ходу шахматного коня**. Сравнение можно вести со средним из двух соседних контролей – один прилегает стороной, а другой соприкасается углом. При этом способе площадь, занятая дополнительными контролями, значительно меньше.

Все описанные методы расположения повышенного числа контролей могут быть использованы как для стандартного вычисления прибавок путем сравнения со средним соседних контролей, так и для обычного вычисления прибавок сравнением каждого варианта со средним контролем для всего опыта. Однако экспериментально было доказано, что сравнение с рядом расположенным контролем не всегда увеличивает точность оценки. Недостатком такого размещения вариантов является снижение точности при сравнении вариантов, расположенных далеко друг от друга, и существенное увеличение площади под опытом. Так, стандарты, размещенные через два опытных варианта, занимают 40 % площади под опытом, а через один – 50 %. В силу отмеченных недостатков стандартные методы не имеют широкого применения в агрохимических полевых опытах.

Систематическое расположение предусматривает неизменное чередование вариантов во всех повторениях опыта. Способ размещения вариантов по этому методу определяется расположением повторений. При их размещении на опытном участке в один ярус используется наиболее простой способ – последовательный. Последовательность расположения вариантов определяется чаще всего организационно-техническими факторами – удобство обработки почвы, внесения удобрений, посева, ухода за растениями, уборки. При размещении повторений в нескольких ярусах варианты чаще всего размещают ступенчато; они идут в одном направлении, но в каждом следующем ряду начало схемы сдвигается на одну, две или больше делянок, а конец ее переносится в начало ряда. При любых способах размещения вариантов нельзя допускать территориального сближения одноименных делянок.

Главное достоинство систематических методов – простота, а недостаток – возможные и часто непредвиденные искажения эффектов по вариантам, ненадежность в статистической оценке ошибки опыта. При систематическом размещении

вариантов имеется большая вероятность корреляции между системой изменения плодородия и системой расположения вариантов, что увеличивает вероятность накопления систематических ошибок. При этом одни варианты будут находиться внутри повторения на делянках, расположенных рядом или близко, а другие – на делянках, удаленных одна от другой, что приводит к неравноточным сравнениям вариантов друг с другом и с контролем. Это несколько сглаживается при многорядном расположении повторений и ступенчатом размещении вариантов внутри повторений, т. к. систематическое изменение плодородия внутри отдельных повторений опыта не будет коррелировать с системой расположения вариантов. Главным недостатком систематических методов размещения делянок является существенное различие между теоретической и исчисленной ошибкой опыта.

Полноценно статистически доказать существование различий по вариантам можно лишь при **случайном (рендомизированном) распределении делянок** по опытному участку. Это обусловлено тем, что методы статистического анализа базируются на принципе случайного отбора. *Рендомизированное* размещение предусматривает распределение вариантов на делянках опыта по жребию или же по специально составленным таблицам случайных чисел. При таком размещении каждый вариант имеет равный шанс попасть на любую делянку.

При рендомизации значительно меньше возможностей корреляции между изучаемыми в опыте вариантами, что делает более равноточными их попарные сравнения. При систематическом изменении плодородия почвы рендомизация уравнивает его влияние внутри каждого повторения и тем самым предотвращает накопление систематических ошибок, превращая их в случайные.

При случайном размещении вариантов различают метод неорганизованных повторений (полную рендомизацию) и метод рендомизированных повторений.

Метод неорганизованных повторений (полная рендомизация), т. е. неограниченная рендомизация условий эксперимента. Эффективен при незначительной почвенной пестроте и небольшом числе вариантов (2–4), когда есть основания не вводить в опыт контроль. Отсутствие контроля возможного закономерного варьирования плодородия почвы компенсируется увеличением числа степеней свободы для ошибки.

По мере увеличения числа делянок в опыте расстояния между сравниваемыми вариантами, а вследствие этого и пестрота плодородия почвы, возрастают, что снижает эффективность метода неорганизованных повторений.

Метод рендомизированных повторений – заключается в рендомизации вариантов внутри каждого повторения, т. е. в повторности варианты по делянкам располагают в случайном порядке по жребию. В пределах каждой повторности почвенные условия должны быть по возможности однородными. Желательно чтобы площадь, занимаемая повторением, была близка к квадрату, что позволит улучшить сравнимость вариантов при любом размещении делянок в пространстве.

Метод латинского квадрата состоит в том, что число повторений (n) в опыте равно числу вариантов, а общее число делянок равно n^2 . При размещении опыта методом латинского квадрата опытный участок квадратной или прямоугольной формы разбивают на горизонтальные и вертикальные ряды по числу вариантов (рис. 110). В горизонтальном и вертикальном ряду помещают полный набор всех вариантов; это возможно только тогда, когда одноименные делянки не повторяются дважды ни в горизонтальном, ни в вертикальном ряду. Внутри этих рядов варианты на делянках расположены по жребию; здесь мы имеем рендомизацию с двумя ограничениями. В пределах латинского квадрата

возможно и систематическое ступенчатое размещение вариантов на делянках. Метод латинского квадрата используется при числе вариантов от 4 до 7. Если вариантов больше, постановка опытов таким методом становится затруднительной и ее можно заменить латинским прямоугольником.

1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	1
3	4	5	6	1	2
4	5	6	1	2	3
5	6	1	2	3	4
6	1	2	3	4	5

а

3	5	2	1	4	6
2	6	5	4	1	3
1	4	6	3	2	5
6	2	4	5	3	1
4	1	3	6	5	2
5	3	1	2	6	4

б

Рис. 110. Размещение вариантов опыта методом латинского квадрата
а – систематическое; б – рендомизированное

Метод латинского прямоугольника предусматривает, что число вариантов в опыте кратно числу повторений. Число вариантов должно без остатка делиться на число повторений. Частное от их деления дает число делянок, на которое необходимо расщепить столбец соответствующего латинского квадрата. Варианты по делянкам рендомизируются так, чтобы ряд и столбец имели полный набор вариантов (рис. 111; Доспехов Б.А, 1979).

Приемы статистической обработки результатов опыта с размещением вариантов методом латинского квадрата и прямоугольника позволяют в значительной степени устранить влияние систематического изменения плодородия почвы в двух взаимно перпендикулярных направлениях и снизить ошибку опыта.

Метод расщепленных делянок – это эксперимент, в котором делянки одного опыта используются как блоки для другого (рис. 112; Доспехов Б.А, 1979). Таким методом закладывают многофакторные или многолетние (длительные) опыты. Расщепленные делянки используются также в случаях, когда необходимо в стационарном опыте ввести дополнительные варианты, сохранив все первоначальные. Сущность метода заключается в том, что опыт разбивается на делянки первого порядка (например, обработка почвы или предшественник); затем каждая делянка первого порядка разбивается на делянки второго порядка (например, срок применения удобрения – некорневая подкормка в фазу кущения и выметывания), делянка второго порядка разбивается на делянки третьего порядка (нормы удобрений). Варианты по главным делянкам и субделянкам размещают рендомизированно. При этом варианты главных делянок рендомизируются самостоятельно по каждому повторению, а варианты делянок второго и последующего порядков рендомизируются отдельно для каждой главной делянки заново в каждом повторении.

15 вариантов (3×3×5)

	I					II					III				
I	3	13	12	14	11	2	1	5	15	6	7	9	4	10	8
II	9	10	4	8	7	13	14	3	12	11	5	6	1	15	2
III	1	5	6	15	2	8	7	4	9	10	14	12	3	13	11

18 вариантов (3×3×6)

	I						II						III					
I	12	2	9	5	8	7	6	13	3	15	10	1	14	17	4	11	16	18
II	4	14	16	18	3	10	17	8	16	12	2	11	6	9	1	5	7	13
III	13	1	17	16	11	6	5	14	7	4	9	18	8	3	10	2	12	15

16 вариантов (4×4×4)

	I				II				III				IV			
I	7	9	12	3	15	16	1	6	2	4	14	13	11	8	5	10
II	8	6	5	14	11	2	4	7	12	3	1	10	9	16	13	15
III	2	11	10	4	5	13	9	8	6	15	16	7	3	14	12	1
IV	15	1	16	13	3	10	12	14	11	8	5	9	2	7	4	6

20 вариантов (5×5×4)

	I				II				III				IV				V			
I	10	2	1	14	9	20	3	15	13	5	8	19	16	4	18	11	7	6	17	12
II	3	20	15	9	8	19	13	5	17	7	12	6	2	1	14	10	11	16	18	4
III	13	5	19	8	16	4	11	18	20	9	15	3	12	6	7	17	14	2	10	1
IV	4	11	16	18	6	12	17	7	14	1	2	10	15	20	9	3	13	19	8	5
V	6	12	7	17	2	1	14	10	18	11	4	16	19	8	13	5	20	15	9	3

Рис. 111. Схема размещения опытов с 15–20 вариантами методом латинского прямоугольника

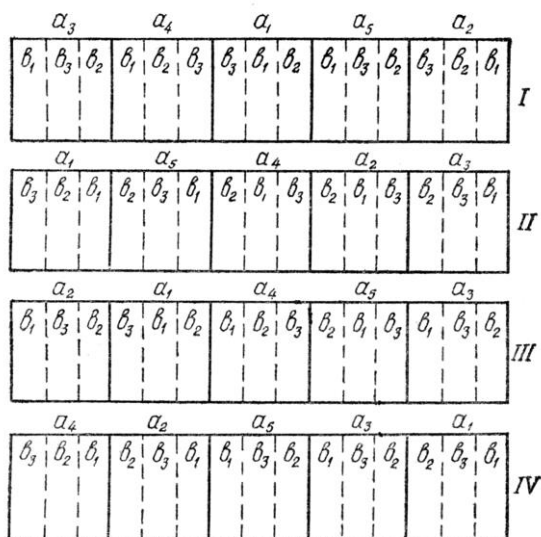


Рис. 112. Схема размещения двухфакторного опыта с 15 вариантами (5×3) методом расщепленных делянок, повторность 4-кратная

Постановка опытов методом расщепленных делянок диктуется и техническими условиями проведения эксперимента. Так, при изучении эффективности норм внесения азотных удобрений на различном фоне фосфорно-калийных удобрений на делянках первого порядка создается фон – $P_{30}K_{30}$, $P_{60}K_{45}$, $P_{90}K_{60}$, а затем на каждом фоне вносят азотные удобрения. Технически осуществить такую методику намного легче, чем методом полной рендомизации. Нелишне отметить, что и точность такого сравнения будет несколько выше, т. к. сравниваемые делянки будут располагаться ближе друг от друга, что повышает вероятность их размещения на близкой по плодородию почве.

Повторение опыта во времени и увязка его с севооборотом. Как уже отмечалось, полевой опыт с удобрениями, кроме повторности в пространстве, должен иметь повторность во времени. В связи с этим возникает проблема ежегодно добиваться одинаковой последовательности чередования культур. Подобные опыты, как правило, ставят в определенном севообороте. Для этого в научных учреждениях создается типичный севооборот с большими размерами полей, на которых размещают одновременно несколько опытов. Каждый опыт ежегодно ставят на новом поле в соответствии с чередованием культур. Основной недостаток способа – удаленность отдельных клиньев и культур каждого опыта друг от друга; это снижает сравнимость данных за разные годы. Однако при этом способе обработку почвы, борьбу с вредителями и сорняками, а также другие общие агроприемы, не являющиеся предметом изучения, можно проводить механизированно, что дает экономию рабочей силы и времени. Для устранения недостатка такого севооборота был предложен способ, при котором для каждого многолетнего опыта выделяют специальный севооборот. Это создает большую однородность всех клиньев и позволяет лучше приспособить севооборот к особенностям опыта. Однако такой способ вызывает некоторые затруднения с обработкой отдельных полей. Если в опыте не исследуются приемы обработки почвы, то С.В. Щерба и Ф.А. Юдин (1974) предлагают комбинировать описанные способы. При такой комбинации для нескольких опытов отводят один опытный севооборот с полями удлиненной формы, расположенными параллельно друг другу. Поля отдельных опытов проходят в перпендикулярном направлении через все поля севооборота. Комбинированный способ дает возможность проводить одновременно одинаковую механизированную обработку одноименных клиньев севооборота всех опытов. В то же время он территориально объединяет все клинья каждого опыта, что создает лучшую сравнимость его данных за разные годы из-за их большей однородности.

Развертывание севооборота, пригодного для проведения опытов с удобрениями, должно проходить постепенно. Ежегодно в опыт вводится новый клин, начиная каждый год с определенной культуры. Клин в севообороте может быть столько, сколько в нем полей (и культур), но не менее 3–4. Это особенно важно при постановке опытов по изучению различных вариантов системы удобрения в севообороте, т. к. наложение отдельных удобрений должно идти в строго определенной последовательности, что обусловлено необходимостью изучения эффективности как отдельных элементов (изучаемых вариантов) системы удобрений, так и различных ее вариантов в целом за ротацию.

Разбивка опыта. Прежде чем приступить к разбивке участка для опыта, исследователь на основании данных уравнительных и рекогносцировочных посевов, учитывая площадь и размер опытного участка, выбирает посевную площадь делянки и расположение повторений. Прежде чем приступить к разбивке опыта

в натуре, необходимо нанести намеченное размещение клиньев севооборота и делянок опыта на схематический план участка и уже по нему вести разбивку.

Для разбивки участка потребуются эккер, стальная мерная лента, сажень, вешки, колья различной величины, мотыга, молоток, шнур, карандаш.

Разбивку участка начинают с обозначения общего контура опыта. Проводят ее с особой тщательностью, т. к. установленные при ней точки будут служить исходными при всех последующих разбивках. Допустимая неувязка при разбивке общего контура не должна превышать 5–10 см в зависимости от общей длины периметра.

Разбивку производят следующим образом. Отступают от краев участка на расстояние защитной полосы и закрепляют кольшком левый угол контура. От него провешивают горизонтальную линию, натягивают шнур и делают мотыгой борозду. Отмеряют стальной мерной лентой длину контура опыта и отмечают его конец кольшком. От обоих концов в перпендикулярном направлении провешивают вертикальные линии, на которых отмеряют ширину контура опыта. Концы закрепляют кольями. При правильной отбивке углов в четырех точках длина противоположных сторон контура должна быть одинаковой. Допустимое отклонение – до 10 см на 100 м. Если оно больше, проводят повторную отбивку углов. Успех разбивки зависит от точности построения прямых углов. Отбивка прямых углов чаще всего производится эккером, причем восьмигранный эккер удобнее в работе и точнее, чем зеркальный. Построить прямые углы можно и с помощью мерной ленты и шнура. Такие способы менее точны, и рекомендовать их не следует, однако знать о них следует.

С помощью мерной ленты разбивку опытного участка осуществляют следующим образом. Провешивают горизонтальную линию, на которой отмеряют длину контура участка под опытом. Концы ее закрепляют кольями: на рисунке 113 они обозначены точками A и B . От точки A в перпендикулярном направлении отмеряют 3 м (точка C_1), а по линии AB – 4 м (точка B_1). Если угол прямой, то в соответствии с теоремой Пифагора (квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов), прямая линия, соединяющая точки C_1 и B_1 , должна составлять 5 м. В противном случае линию AC передвигают влево или вправо до тех пор, пока не будет установлен прямой угол. Затем провешивают вертикальную линию контура (AC). Точно также отбиваются остальные три угла.

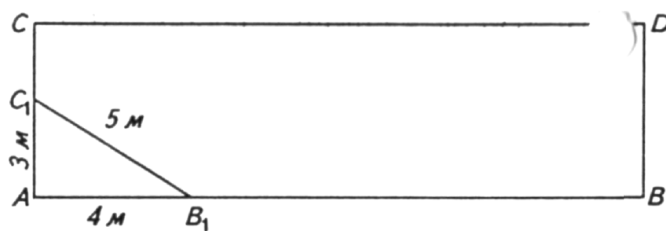


Рис. 113. Построение прямого угла с помощью мерной ленты

Построить прямой угол можно и с помощью шнура. Провесив лицевую сторону опыта AB , ставим кольшек в точке A , по провешенной линии AB в обе стороны от точки A отмеряем по 6 м и ставим кольшки. Берем шнур длиной 20 м (или два по 10 м) и точно в середине (10 м) привязываем шпагат. Затем концы

шнур привязываем к кольшкам. Натягиваем шнур в направлении стороны, противоположной AB , и в образовавшемся углу, в вершине его, ставим кольшек A_1 , который определяет направление линии AC под прямым углом. Для большей точности прямой угол отбивают и в противоположном направлении, где ставят вторую вешку A_2 . Если угол отбит правильно, то точки A , A_1 , A_2 должны располагаться по прямой линии под прямым углом к AB (рис. 114).

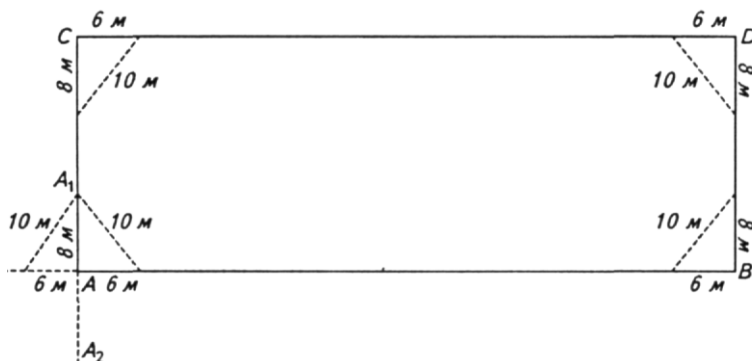


Рис. 114. Построение прямых углов с помощью рулетки и 20-метрового шнура

После отбивки общего контура приступают к разбивке участка опыта на делянки. Эта работа проводится мерной лентой или рулеткой. При расположении опыта в один ярус по обеим сторонам участка отмеряют ширину делянок и отмечают их границы кольшками. Ширина последней делянки должна оказаться одинаковой с остальными, в противном случае работу нужно проделать заново. При 2-х и более ярусном расположении сначала размечают яруса, включая и дорожки между ними если они предусмотрены. Разбивку на делянки можно производить для каждого ряда в отдельности или же отложить их ширину только по крайевым линиям, а на промежуточных границах или дорожках расставить кольшки, провешивая прямые линии с одной стороны на другую. Если опыт очень большой и вешки на контурных линиях его плохо видны, приходится ставить промежуточные вешки или натягивать шнур и по ним отмерять ширину делянок. Если в конце разбивки опытного участка получилась незначительная погрешность, то ее нужно равномерно распределить по всей длине опыта, т. е. раскидать на все делянки

Фиксацию границ делянок проводят с помощью кольшков длиной 50–60 см, вбиваемых в почву. Затем делянки нумеруются. Номер делянки пишут простым карандашом на крайних левых кольшках. Отсчет ведут слева направо. При расположении опыта в несколько ярусов нумеровать делянки в каждом ярусе также следует слева направо. Это значительно уменьшит вероятность ошибки при рассеивании удобрений на делянках. Хотя наблюдения за опытом удобнее вести, если делянки пронумерованы челночным способом.

При закладке стационарного опыта в севообороте сущность работы остается той же, но сначала отбивают общий контур всего севооборота, затем его разбивают на клинья с выделением дорожек между ними и, наконец, каждый севооборотный клин разбивают на делянки. Если опыт не закладывают сразу на всех клиньях севооборота, то на делянки разбивается только тот клин, на котором опыт закладывается в данном году.

Закрепление границ опыта. Сделанную разбивку необходимо закрепить, чтобы можно было восстановить границы делянок на тот случай, если угловые (временные) колья будут выпажаны или сдвинуты при обработке. Для этого основные линии участка опыта (по крайней мере две) продолжают по прямой в обе стороны за пределы обрабатываемой площади (на края канав, обочины дорог и т. п.) и на этих продолжениях устанавливают уже постоянные колья (реперы, фиксировочные колья). Расстояния от постоянных (фиксировочных) до угловых временных кольев тщательно измеряют и записывают с тем, чтобы всегда можно было восстановить утерянные колья. Постоянные колья могут быть сделаны из самого разнообразного материала. Чаще всего для них употребляются толстые деревянные колья с перекладиной или крестовиной внизу, зарываемые до 50–75 см в землю. Могут быть также использованы отрезки железных труб, рельсов, каменные столбики. Очень удобны в качестве реперов металлические трубы с приваренной на них проволокой длиной 60 см. Трубы вкапывают в почву на глубину 30 см, а концы проволоки находятся на поверхности. Это не мешает обработке почвы, проезду техники. Однажды зафиксированные границы опытных полей позволяют избежать затрат на их восстановление в осеннее или весеннее время при закладке опыта с очередной культурой.

В многолетних опытах часто фиксируют не только их границы, но и границы отдельных делянок, что значительно облегчает повторную разбивку участка. Для этого вдоль основной стороны опыта устанавливают угловые прочные колышки с выносом их на необрабатываемую полосу (дорогу) между полями. Колышки забивают почти до уровня поверхности почвы и сверху прибавляют гвоздями металлическую бляшку с номером делянки.

Внесение удобрений в почву – один из ответственных моментов закладки полевого эксперимента. Удобрения в одном опыте необходимо внести в течение одного дня. Главное требование к этой операции – равномерное распределение по площади делянки точно соответствующего норме количества удобрения. Это важно не только в опытах, где удобрение является изучаемым фактором, но и где оно служит фоном для других сравниваемых приемов. Неправильно взвешенная навеска или неравномерное распределение ее на делянке приводят к искажению истинного урожая, появлению ошибки и снижению точности опыта. Сделанная при внесении удобрений ошибка впоследствии никак не может быть исправлена, а большей частью и не бывает обнаружена.

Для эксперимента используются виды и формы удобрений соответствующие ГОСТам. Нормы удобрений указываются в расчете на содержание основного питательного вещества (N, P₂O₅ и K₂O). Для расчета количества удобрений на делянку (*X*) в килограммах или, если делянка 50 м² и менее, в граммах пользуются формулами:

$$X = \frac{a \cdot c}{100 \cdot b}, \text{ кг или } X = \frac{10 \cdot a \cdot c}{b}, \text{ г,}$$

где: *a* – норма питательного вещества в кг/га;
b – содержание питательного вещества в удобрении, %;
c – площадь делянки, м².

Навеску менее 1 кг отвешивают с точностью до 1 г, от 1 до 10 кг – с точностью до 10 г, выше 10 кг – с точностью до 100 г. В зависимости от величины навески взвешивание производится на различных весах. Навески до 1 кг взвешивают на технико-аналитических, а свыше 1 кг – на технических весах.

Навески берут в лаборатории заблаговременно, но гигроскопичные удобрения (например, аммонийная селитра) не должны храниться в развешенном виде больше 2–3 дней. Все порошковидные удобрения перед развеской должны быть тщательно измельчены и просеяны через сито с отверстиями 3 мм, а гранулированные – через сито 5 мм. Развешивают удобрения в бумажные пакеты, полиэтиленовые мешочки или мешки, которые выбрасываются после однократного употребления. На пакетах должны быть написаны вид удобрения и величина навески, а в мешки вложена и привязана к ним соответствующая этикетка.

Если схема опыта предусматривает внесение 2–3 видов удобрений, следует учитывать их слеживаемость и изменение физико-химических свойств. Если удобрения можно смешивать, то навески разных видов удобрений объединяют в один пакет. За 2–3 дня до внесения можно брать навески аммонийной селитры, сульфата аммония, мочевины и смешивать их с суперфосфатом и калийными удобрениями. Кальциевая и натриевая селитры из-за большой сорбционной способности водяных паров при длительном хранении могут слеживаться, так же как и смеси с ними.

Подготовленные навески, для удобства группируют в соответствии со схемой опыта. Для этого их можно связывать по делянкам, нанизывать на нитку, укладывать в большие мешки или в ящики. В таком состоянии их доставляют к полю.

Перед внесением удобрений границы делянок обозначают натягиванием шнура, шпагата или тонкой веревки. Если делянок много, в целях экономии шпагата можно по натянутому шпагату провести на почве борозды. Пакеты с навесками удобрений раскладывают по всем делянкам опыта, после чего проверяется правильность раскладки. Число навесок должно точно соответствовать количеству делянок; при этом условии ошибка в раскладке сейчас же обнаруживается недостатком или, наоборот, излишком пакета с удобрением.

Внесение удобрений требует определенного навыка. Чтобы добиться равномерного распределения их по делянкам, ручной рассев удобнее производить из круглых или продолговатых железных тазов. При небольшой массе удобрения рекомендуется предварительно смешивать навеску с землей, взятой с той делянки, для которой предназначается удобрение. При этом желательно доведение всех удобрений до одинакового объема, что позволяет сеятелю лучше приспособиться к равномерному высеву на делянку. Чтобы равномерно распределить удобрение по площади делянки, следует выполнить некоторые рекомендации: распределять его по делянке в два приема, проходя ее вдоль и поперек; рассевать надо так, чтобы иметь остаток удобрений, который всегда можно разбросать по всей делянке; в случае нехватки удобрений на какую-то часть делянка должна считаться испорченной. Если делянка большая, то лучше разбить ее и, соответственно, навеску на несколько равных частей, и вносить соответствующие доли удобрения на каждую часть в отдельности.

При внесении на делянку нескольких видов удобрений, если допустимо их смешивание, лучше вносить их в смеси, т. к. при этом лучше обеспечивается одинаковое соотношение питательных веществ на всей площади делянки. Если смешивание недопустимо, каждый вид удобрения рассеивается отдельно.

Если площадь делянки достаточно большая и имеется небольшая туковывсеивающая сеялка, удобрения следует вносить ею. Механизированное внесение обеспечивает более равномерное распределение, а кроме того устраняет необходимость в предварительной развеске удобрений для каждой делянки, т. к. следует лишь точно настроить сеялку на определенный высев. Планируя механизиро-

ванное внесение удобрений, следует предусмотреть расположение опытных делянок в один ярус, их форма должна быть вытянутой, а ширина – кратной ширине захвата сеялки. При механизированном внесении удобрений вначале засевают все повторные делянки одним удобрением (или одной комбинацией удобрений), сеялку тщательно очищают от остатков этого удобрения, производят установку на новую норму и приступают к высеву следующего удобрения и т. д. Еще экономичнее внесение удобрений комбинированными сеялками.

Количество органических удобрений (навоз, компосты и др.) на делянку (X , кг) рассчитывают, исходя из рекомендуемой нормы на 1 га, но правильнее вносить их по расчету на сухое вещество по формуле:

$$X = \frac{a \cdot c}{100 \cdot b}, \text{ кг},$$

где a – норма удобрения в кг;
 c – площадь делянки в м²;
 b – содержание действующего вещества, %.

Расчеты по сухому веществу делаются так же, как и по содержанию питательных веществ для минеральных удобрений. В некоторых опытах требуется установление нормы по содержанию соответствующего питательного вещества.

Пробы на влажность и содержание питательных элементов берут за 2–3 дня до внесения удобрений в строгом соответствии с требованиями нормативных документов. Знание химического состава органического удобрения необходимо не только для установления нормы, но и в дальнейших расчетах при определении выноса, коэффициентов использования элементов, изменений почвенного плодородия. Если анализ нужен не для расчета навески навоза на делянку, а для каких-либо последующих расчетов, пробы лучше брать в момент самого взвешивания из каждого воза или носилок, соединяя затем эти отдельные пробы и отбирая из них средние. Перед взятием навесок органические удобрения должны быть тщательно перемешаны, для того чтобы иметь однородную массу как по содержанию неразложившихся органических веществ, так и питательных элементов.

Взвешивание органических удобрений проводят на больших площадочных весах, приспособив для этих целей деревянные ящики или носилки. Как и при рассеве минеральных удобрений, большое внимание должно быть уделено равномерному их внесению. Сыпучие органические удобрения (торф, компосты) вносят путем разбрасывания лопатами, а полуперепревший навоз – вилами. Внесение органических удобрений с помощью навозоразбрасывателей допускается в опытах с большой площадью делянок (500 м² и более).

При закладке опытов по изучению некорневых подкормок удобрения вносятся чаще всего вручную, а на производственных опытах с применением авиации. При использовании авиации необходимо соблюдать соответствующие предписания и рекомендации.

Обработка опытных делянок. Удобрения, применяемые под основную обработку почвы, заделывают плугом, культиватором, дисковыми боронами одновременно на всем опытном участке в день внесения удобрений. Недопустимо оставлять удобрения, особенно органические, на поверхности почвы даже на 1 сут. Обработка опытных делянок проводится с соблюдением всех агротехнических требований к выполняемым операциям. Особое внимание уделяется их однородности на всех делянках опыта. Для этого все операции

должны быть выполнены одновременно, одними и теми же орудиями на всех делянках опыта. На всех делянках глубина заделки удобрений, прикатывание почвы или боронование должны быть одинаковыми. При обработке почвы необходимо избегать свальных и развальных борозд на делянках, которые следует располагать за пределами опытного участка или по границам ярусов так, чтобы они входили в защитные полосы, и их можно было исключить из общей площади делянок.

Если обработка почвы или способ заделки удобрений не являются изучаемым фактором, то одновременно обрабатывается весь участок под опытом или севооборотный клин. Обработки проводят поперек делянок, чтобы огрехи, разница в глубине отдельных борозд и другие подобные дефекты не нарушили сравнимости между ними. В опытах допускается только загонная пахота, а повороты обрабатывающих орудий должны проводиться за пределами опытного участка. В стационарных опытах развороты проводят на дорогах, отделяющих поля севооборотов, а в общих посевах – за пределами опытного участка. Для этого по коротким концам участков или клиньев должны оставаться свободные дорожки не менее 10–12 м. Не допускается никаких остановок агрегатов в пределах опыта.

При вытянутой форме делянок обработка почвы производится, как правило, поперек делянок, т. е. по длине участка. Однако при этом необходимо, чтобы пласт отваливался при первой обработке в одну, а при следующей – в обратную сторону. При квадратной форме делянок и многорядном их расположении обработку почвы целесообразно производить в обоих взаимно перпендикулярных направлениях. Для того чтобы свалы и развалы не попадали на учетные делянки, производят одновременно вспашку двух рядов делянок, пригоняя свал или развал на их границу. При достаточной ширине защитных полос (не менее 2 м) и аккуратной работе свал или развал не захватывают учетную часть делянок. Однако лучше для этой цели посередине опытного участка сделать специальную дорожку шириной 1–2 м. Вспашку участка всвал и вразвал должны чередоваться между собой. При однорядном расположении делянок или многорядном, но при малой величине делянок и отсутствии средней дорожки, на опытном участке вспашку нужно производить в одну сторону.

Посев и посадка в опытах. Посев (посадку) необходимо провести в течение одного дня и с большой тщательностью. Сеялки и сажалки должны быть отрегулированы и установлены на норму высева и посадки. Норму высева рассчитывают, учитывая рекомендованную густоту стояния растений, массу 1000 семян, их всхожесть и хозяйственную годность. Для проведения опытов рекомендуется использовать только высококачественный посевной материал.

Посев и посадку на опытных участках производят обычно через все делянки повторности, перпендикулярно их длинным сторонам, чтобы случайные дефекты, например, забившийся сошник, влияли одинаково на все варианты опыта. Включение и выключение сеялок производят за пределами собственно опыта, не ближе 1 м от границы (линии угловых кольев). Чтобы посев был ровным, первый проход сеялки делают либо по шнуру, либо по предварительно сделанной по шнуру бороздке. Недопустимы остановки сеялки на делянках.

При изучении норм гранулированных удобрений их внесение и посев семян производят одновременно комбинированными сеялками. В таком случае каждая делянка засеивается отдельно, т. е. сеялка движется вдоль длины делянки. Нормы высева семян на всех делянках одинаковы, изменяются только нормы внесения удобрений. Поэтому удобно засеивать делянки на всех по-

вторностях с первой нормой удобрения, а затем следующие. При выборе формы делянок для таких опытов необходимо, чтобы их ширина была равной ширине сеялки или нескольким ее проходам. Для исключения заездов на соседнюю делянку, трактор должен идти по натянутому шнуру. Включение и выключение высеваша аппарата проводят за пределами опытного участка, не ближе 1 м от границы.

Посев (посадку, высадку рассады) проводят поперек делянок. На всех делянках необходимо обеспечить произрастание одинакового числа растений. Для этого ширина междурядий и расстояния между растениями в рядах подбираются таким образом, чтобы на делянку приходилось целое число рядков, борозд и кустов. Более удобно и методически правильнее длину и ширину делянки делать кратными стандартным расстояниям между растениями и рядами.

При изучении влияния подкормок посев удобно производить селекционными малогабаритными сеялками. При их использовании разбивка участка под опыт значительно упрощается. Отбивается только лицевая сторона опыта и перпендикулярно к ней провешивается и отмечается шпагатом или бороздой на почве правый край участка. Посев производится только в одном направлении.

После завершения посева (посадки) производят обсев участка под опытом. Обсев не должен касаться делянок, его проводят за границами опытных делянок.

Защитные полосы. Чтобы добиться выравнивания условий произрастания растений, учет урожая ведется не со всей делянки, а лишь с ее части, называемой учетной площадью. Совершенно ясно, что условия произрастания растений на границе делянок несколько отличны от условий, наблюдаемых в середине делянки. Происходит это вследствие того, что во время внесения удобрений, при их заделке и обработке почвы, посевах культур возможно частичное перемещение удобрений с одной делянки на другую. Перемещения удобрений особенно значительны при орошении. Кроме того, растения, произрастающие на краях делянок, могут своими корнями использовать питательные вещества соседней делянки. Особенно сильно действие так называемого краевого эффекта проявляется на делянках без внесения удобрения. Влияние краевого эффекта на общую урожайность делянки тем сильнее, чем меньше ее площадь. При больших площадях делянок действие краевого эффекта сглаживается и ошибка опыта снижается.

Защитные полосы отбивают по обе стороны границы делянок (рис. 115). Размеры защитных полос определяются не только возможным распространением краевого эффекта (обычно более высокий уровень питания распространяется не далее двух-трех крайних рядков для зерновых и одного рядка для пропашных культур, а перенос удобрений на границе двух делянок может захватывать более широкую полосу, особенно в многолетних опытах), но и обязательно необходимо учесть габариты агрегатов, используемых для внесения удобрений, обработки почвы, посева, ухода за растениями и уборки. Минимальная ширина защитных полос в многолетних опытах 1 м от каждой делянки (2 м в сумме от обеих соседних делянок); однолетних – 75 см (1,5 м в сумме).

Защитные полосы обрабатывают, удобряют и засевают вместе со всей делянкой. Растения убирают на них непосредственно перед уборкой учетных делянок. На пропашных культурах учетные делянки отбивают перед уборкой путем отсчета нескольких крайних рядков и растений. За 2–3 дня до уборки и учета урожайности от кольев, фиксирующих границы делянок, натягивают шнур и исключают определенное количество растений. На культурах сплошного сева удобнее зафиксировать их границы заранее. Такую отбивку произ-

водят после появления всходов, пока растения еще малы. В обе стороны от кола, разделяющего соседние делянки, отмеряют ширину защитной полосы, вбивают кольца с лицевой и противоположной сторон делянки; натягивают шпагат (тонкую проволоку) или пробивают по шнуру мотыгой полосу шириной 15–20 см по границе между учетной делянкой и защитной полосой (в сторону защитной полосы). Обязательна защитная полоса при соприкосновении делянки с незасеянными дорожками, которые часто устраивают между боковыми сторонами делянок, ярусами и с лицевой стороны опыта.

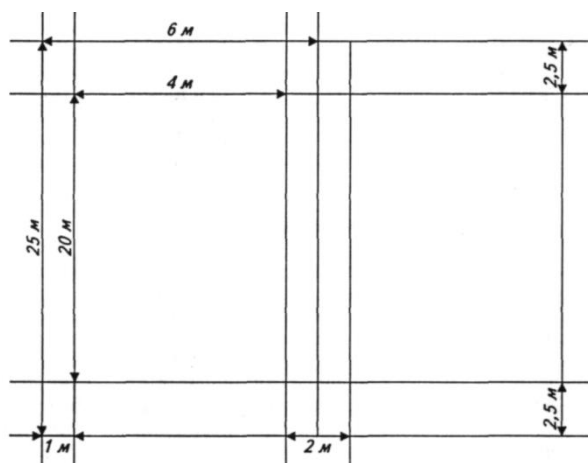


Рис. 115. Расположение защитных полос

Обсев опыта также выполняет функции защитной полосы. Ширина ее может варьировать в широких пределах, от одного до двух десятков метров. Убирают ее перед уборкой деляночных защитных полос или одновременно с ними.

После отбивки защитных полос против каждой делянки устанавливают этикетки с указанием номера делянки. На лицевой стороне опыта устанавливается этикетка с указанием темы исследований. Каких-либо особых требований к этикеткам не предъявляют, они должны быть покрашены и таких размеров, чтобы были хорошо видны, и на них размещалась необходимая информация.

Уход за растениями на опытных делянках должен соответствовать технологии выращивания культуры. Все работы, предусмотренные технологией, производятся в соответствии с агротехническими требованиями к ним. Все работы должны быть выполнены в срок с высоким качеством и одновременно (в течение одного дня) на всем опыте или хотя бы в пределах каждого повторения. Особое внимание уделяется борьбе с сорняками, вредителями и болезнями, развитие которых существенно влияет на результаты опыта. В агрохимических опытах для борьбы с вредителями и болезнями растений, необходимо выбирать способы, не влияющие на питательный режим почвы и интенсивность потребления растениями элементов питания. Так, нельзя применять в опытах с фосфатами суперфосфат для борьбы с полевым слизнем или томасшлак для борьбы с блошкой.

Кроме того, на опытном поле выполняются такие специальные работы, как поддержание в чистоте дорожек и запольных участков, обрезка по шнуру концов после появления всходов. Дорожки и дороги на опытном поле, как между отдельными участками опыта, так и между клиньями севооборотов,

либо поддерживаются в черном пару, либо засеваются после окончания весенних работ какой-нибудь культурой, чаще всего вико-овсяной смесью. Некоторыми опытными учреждениями практикуется содержание дорожек под дерниной. Это удобно для езды и ходьбы, но задернелые дорожки могут служить рассадником всевозможных вредителей, в частности проволочника.

Для обоснованной интерпретации результатов опыта необходимы дополнительные данные о росте и развитии растений, пищевом режиме почв, условиях роста растений. Наблюдения и учеты, проводимые для их получения, называются *сопутствующими*. Сопутствующие наблюдения определяются, прежде всего, сельскохозяйственной культурой, на которой проводятся исследования, и поставленными задачами. Сроки и методика их проведения определяются на стадии планирования исследований, и отражаются в рабочей программе.

Метеорологические наблюдения. Правильное объяснение результатов полевого опыта возможно лишь при наличии сведений о погодных условиях проведения опыта. Такие сведения можно получить от метеорологической станции. Если метеостанция находится в непосредственной близости от опытного поля, то в кратковременных опытах можно использовать ее данные. Однако при значительном ее удалении, а также для многолетних опытов необходимо организовать основные инструментальные наблюдения за погодой. На постоянных опытных участках организуются прежде всего наблюдения за осадками (в течение всего года), температурой и влажностью воздуха, снежным покровом (от выпадения до схода), температурой на поверхности почвы (в периоды, когда возможны понижения температуры, отрицательно сказывающиеся на посевах). Обязательно фиксируются: засуха, суховеи, осадки большой интенсивности (ливни), градобитие, ледяная корка. Метеорологические наблюдения проводят по местному среднему солнечному времени* в строгом соответствии с методикой Гидрометеоцентра Российской Федерации.

Учет засоренности. В агрохимических опытах с удобрениями ограничиваются определением численности и массы сорной растительности. Под численностью понимают число растений (стеблей), приходящееся на единицу площади (1 м^2), массой – масса сорняков с единицы площади. Если же программой исследований предусмотрена более тщательная характеристика засоренности, например, в опытах по влиянию удобрений на засоренность полей, вынос сорняками элементов питания, изменение ботанического состава и др., то определяют видовой состав сорняков, степень покрытия ими площади (определение процента площади, занятой тем или иным видом или группами их), их обилие (количество экземпляров) и массу, характер распределения на площади, ярусность (расположение сорных растений по отношению к культурным).

При характеристике засоренности применяются количественные и визуальные (глазомерные), приемы учета. Количественный учет осуществляют на площадках $0,25$ или $0,3 \text{ м}^2$, расположенных на делянке рендомизированным способом из расчета 1 площадка на 10 м^2 посевной площади делянки. Если делянки небольшие, то необходимо сделать подсчеты как минимум в трех ее местах. Для удобства изготавливают рамки прямоугольной или квадратной формы, ограничивающие на делянке площадь в $0,25$ или $0,3 \text{ м}^2$. При визуальной оценке показатель выражают в баллах.

* Чтобы определить среднее солнечное время местности, разность долгот между средним меридианом пояса и меридианом данного пункта переводят на время: один градус долготы равен 4 мин; 1 мин долготы – 4 с времени.

Численность сорняков устанавливают путем их подсчета на единице площади и выражают в штуках на 1 м², или визуально оценивают степень их распространения по пятибалльной шкале: 1 балл – сорняками занято до 1 % общей площади, 2 – 1-5%, 3 – 5-25%, 4 – 25-50-%, 5 баллов – более 50% площади.

Ярусность сорняков устанавливается по отношению к культурным растениям – выше, наравне, до половины высоты, не попадающие под нож уборочной машины

Массу всех надземных органов растений выражают в граммах на единицу площади (1 м²). Она характеризуется тремя величинами: массой живых растений (сырая масса), их абсолютно сухой массой и массой растений в воздушно-сухом состоянии. Высота сорняков определяется по высоте преобладающих растений.

При детальных исследованиях устанавливают засоренность пахотного слоя почвы семенами и зачатками сорняков. Учет заключается в подсчете количества семян и плодов сорняков в почвенном образце, отобранном буром Шевелева с последующим выделением семян при помощи химических растворов. Для определения содержания и расположения в почве корневищ, корней сорняков, способных укореняться и отрастать, применяются специальные методы учета. В опытах с многолетними травами имеет значение определение засоренности урожая, которое обычно проводится по пробному снопу весом 5–6 кг, отбираемому для определения выхода сена.

При оценке засоренности следует отмечать фазы развития сорняков. В зависимости от их ботанической принадлежности это могут быть всходы, стеблевание, цветение, засыхание растений, розетки, бутонизация, колошение, созревание семян.

Если не предусмотрено программой исследований, то сорняки с опытных делянок следует удалять.

Фитопатологические и энтомологические наблюдения. Болезни и вредители сильно влияют на рост, развитие и урожай сельскохозяйственных культур. Методика проведения полевого опыта предусматривает обязательную борьбу с ними. В большинстве агрохимических исследований достаточно указать заболевание(я) и вредителя(ей) и оценить степень повреждения. В опытах по изучению влияния удобрения на развитие болезней и поражение растений вредителями оценка ведется более детально. Желательно проводить их совместно со специалистами по защите растений, т. к. наблюдения и оценки за различными болезнями и вредителями специфичны, требуют знаний болезни растений, их диагностики, методов учета, биологии развития патогенов.

Распространенность болезней и вредителей оценивают процентом пораженных растений (колосьев, метелок, початков) или величиной (выраженной в процентах от общей) площади, занятой пораженными культурами, чаще всего визуально. Оценку проводят в различные фазы развития растений, выборочным методом.

При поражении посевов несколькими болезнями и вредителями его оценивают суммарно по пятибалльной шкале: 0 – отсутствие повреждений и поражений; 1 – повреждены единичные растения (до 10 %); 2 – повреждено 10–25 % растений; 3 – повреждено 25–50 % растений; 4 – повреждено 50–75 % растений; 5 – повреждено свыше 75 % растений.

Наблюдения за ростом и развитием растений включают количественную оценку этих процессов и фенологические наблюдения.

Фенологические наблюдения, т. е. регистрация наступления очередной фазы развития, проводятся с целью установить различия в росте и развитии растений по отдельным вариантам опыта. За начало фазы принимают первый

день, в который она зарегистрирована не менее чем у 10% растений, а за массовое наступление – день, в который фаза отмечена не менее чем у 50% (или 75%) растений. Деление вегетационного периода на фазы определяется ботанической принадлежностью растений и хозяйственным использованием культур. В связи с этим выделяют у растений:

– из семейства злаков (зерновые, рис, кукуруза): всходы, кущение, выход в трубку, колошение (выметывание), цветение, молочная, восковая и полная спелость. Дополнительно отмечают: у озимых культур – конец осенней и начало весенней вегетации, злаковых трав – хозяйственная спелость, отмирание (конец вегетации), а также начало отрастания весной при повторном использовании;

– из семейства бобовых (горох, фасоль, бобы, чечевица, вика): всходы, начало образования боковых побегов, образование соцветий, цветение, созревание. У бобовых трав дополнительно отмечают хозяйственную спелость и отмирание растений (конец вегетации), а у многолетних трав отмечается также возобновление вегетации весной;

– сахарной свеклы и других корнеплодов: всходы (вилочка), первая пара настоящих листьев, третий настоящий лист, начало утолщения подсемядольного колена, увядание наружных листьев, а также отмечают смыкание листьев в рядках, смыкание листьев в междурядьях, размыкание листьев в междурядьях;

– картофеля: всходы, образование соцветий, конец цветения, увядание ботвы;

– сои: всходы, первый настоящий лист, третий настоящий лист, образование боковых побегов, цветение, созревание;

– клецвины: всходы, первый лист, третий лист, образование соцветий, цветение, созревание;

– подсолнечника: всходы, образование корзинки (при достижении диаметра корзинки 20–25 см), цветение, желтая корзинка и созревание;

– табака: всходы, первый настоящий лист, третий настоящий лист, образование соцветий, цветение;

– гречихи и конопля: всходы, начало роста стебля (у гречихи не отмечается), образование соцветий, цветение, созревание;

– льна: всходы, начало роста стебля, образование соцветий, цветение, зеленая и полная спелость семян;

– горчицы: всходы, розетка, бутонизация, начало цветения, конец цветения, начало созревания;

– хлопчатника: всходы, третий лист, бутонизация, цветение, раскрытие первых коробочек, прекращение вегетации.

На основании фенологических наблюдений выявляют различия вариантов в наступлении и продолжительности фенофаз, а также по вегетационному периоду. Сравнения ведут как с контролем, так и между вариантами. Очень важно отмечать различия в росте и развитии растений в течение вегетации, т. к. это позволяет полнее оценить характер и продолжительность действия удобрений. Любые различия должны сразу анализироваться, т. к. с течением времени они могут нивелироваться последующими неблагоприятными воздействиями. Например, обработка семян риса микроэлементами способствует более энергичному начальному росту растений, что позволяет получать более густые всходы; однако к уборке в результате конкуренции часть растений погибает, причем, чем больше всходов, тем ниже выживаемость. Если вести учет только при уборке, то этот эффект можно не выявить.

Кроме регистрации наступления фаз вегетации необходимо отмечать все *видимые различия в характере развития растений* – изменение окраски листьев, их увядание и высыхание, опадение завязей, полегание растений и др. Отмечать их появление и исчезновение надо немедленно.

Большую ценность представляют количественные показатели *роста и развития растений*. Наиболее часто для этого используются такие показатели как полевая всхожесть, густота стояния растений, количество продуктивных стеблей и побегов, высота растений, длина корней, сухая масса растений, стеблей и корней.

Подсчет густоты стояния производят после появления всходов (озимых культур перед уходом в зиму и после возобновления вегетации), перед уборкой, для трав – после каждого отрастания (у многолетних после возобновления вегетации). Подсчет растений ведется на закрепленных рядках (участках) в разных местах делянки. В зависимости от пестроты почвенного плодородия и величины делянок их площадь составляет один или несколько квадратных метров. Например, для зерновых культур при обычной ширине междурядий подсчет ведется на двух смежных рядках длиной 111 см в трех местах делянки. Затем вычисляют среднее значение и пересчитывают на 1 м². У озимых культур на этих же закрепленных делянках определяют число перезимовавших растений для оценки зимостойкости. На выделенных и отмеченных кольшками рядках подсчитывают с осени число растений, идущих в зиму, а весной после начала вегетации – число сохранившихся растений. Вторая величина выражается в процентах от первой. Вымочки, а также пятна выпревания, вымерзания и т. п., захватывающие более или менее значительную часть делянки, обмеривают и наносят на схематический план опыта.

Высота растений также является количественным показателем роста. Она определяется как среднее из промеров 20–50 растений.

В течение всего вегетационного периода представляют интерес наблюдения за приростом сухого вещества. Учеты производятся по фазам развития, а при более детальном наблюдении за динамикой накопления сухого вещества по календарным срокам (через день, каждую неделю, декаду. Расчет может проводиться как на единицу площади (1 м²), так и на растение. Для этого в первом случае пробы берут с пробных рядков или площадок (0,25–1,0 м²).

К сопутствующим наблюдениям относятся регистрация любых повреждений растений вследствие воздействия *неблагоприятных погодных условий* (заморозки, град, ливневые дожди, шквальный ветер, пыльные бури), а также повреждений скотом, неумелыми действиями механизаторов. При таких явлениях растения в разной степени травмируются, полегают, что приводит к снижению их продуктивности и даже гибели. Если погибло более 50 % растений на делянке, то учет урожайности не проводят, делянку или опыт полностью выбраковывают. Число погибших или травмированных растений определяют путем подсчета на площадках или визуально. Результаты наблюдений выражают в процентах к площади делянки или количеству растений до их гибели. Полегаемость растений оценивают в баллах по пятибалльной шкале. При этом в основу оценки может быть положена как пригодность посева к механизированной уборке, так и число полегших растений.

Шкала для оценки полегаемости растений по пригодности к механизированной уборке:

5 баллов – делянка пригодна к механизированной уборке, убирается полностью, без потерь;

4 балла – механизированная уборка частично затруднена;

3 балла – механизированная уборка возможна при наличии специальных приспособлений (для уборки полеглых посевов), но при этом возможны потери урожая;

2 балла – механизированная уборка возможна только в одном направлении с приспособлением для уборки полеглых хлебов;

1 балл – механизированная уборка невозможна.

Шкала для оценки полеглости по числу полеглых растений:

1 – растения полностью лежат на земле;

2 – полегло более 50 % растений;

3 – полегло 25–50 % растений;

4 – полегло менее 25 % растений

5 – полегания нет, растения стоят вертикально.

Низкие температуры и избыток осадков вызывают гибель растений от вымерзания, выпревания, вымокания, образования ледяной корки, ветровой и водной эрозии. Особенно подвержены таким поражениям озимые культуры и многолетние травы. Вымерзание происходит в осенне-зимнее время при недостаточном увлажнении почвы в осенний период, отсутствии снежного покрова и низких температурах. В весеннее время вымерзание наблюдается при поздних заморозках. Выпревание растений наступает при большом снежном покрове и теплой зиме. Особенно сильно растения гибнут, когда снег ложится на талую, непромерзшую почву. Вымокание посевов происходит от застоя дождевых и талых вод в пониженных местах рельефа, а также вследствие подтопления при поднятии уровня грунтовых вод. Гибель растений вызывается главным образом недостатком кислорода.

Для оценки этих повреждений перед уходом растений в зиму проводят подсчет растений на делянках. Все последующие учеты сравнивают с этим результатом (это исходное состояние). За состоянием зимующих растений следят путем взятия проб на отрастание. Количество проб и сроки отбора могут быть различными. Сроки взятия проб озимых культур на отрастание приурочиваются к 25 числу каждого месяца, начиная с 25 декабря, и для многолетних трав – к 10 числу каждого месяца, начиная с 10 декабря; при неблагоприятных условиях – и чаще. Пробы отбирают в виде монолитов размером 25×25 см, при этом толщина монолита должна быть больше пахотного слоя. Привезенные в лабораторию монолиты выдерживают при оптимальных условиях температуры, влажности, освещения до тех пор, пока растения начнут отрастать. Учет результатов отращивания проб выражают в процентах. Оценить перезимовку растений можно и весной путем подсчета живых и погибших растений на выделенных весной площадках.

Методика отбора растительных образцов в период вегетации. Для проведения анализов растений в период вегетации отбирают растительные образцы. Методика их отбора определяется культурой и проводимым учетом или анализом. Вместе с тем существуют общие правила. Прежде всего, это касается отбора средней пробы, отражающей истинное состояние растений в зависимости от изучаемых агрохимических приемов.

Для получения достоверных данных растительный образец должен отражать общее состояние растений на опытной делянке. Растительные образцы отбирают с участков, на которых нет нехарактерных признаков развития растений, не связанных с действием изучаемого фактора, т. е. не должно быть изреживания, просевов, очагов вымокания.

Растительные образцы отбирают со всех вариантов опыта и повторений. Если опыт большой, то можно ограничиться двумя несоприкасающимися по-

вторениями или же производить отбор только с наиболее различающихся вариантов. На всех или отдельных выбранных экспериментатором делянках двух повторений опыта для наблюдений и взятия образцов закрепляют кольшками четыре площадки, каждая не менее 4 м². Площадки располагают по краям делянки, отступая не менее чем на 0,5 м от защитной полосы. С выделенных площадок образцы берут рядками или квадратами по 0,25 м². Квадратами отбирают тогда, когда делянки засеяны узкорядным, перекрестным или очень загущенным рядковым способом. Таким образом, в один прием на одной делянке из четырех мест будет взят образец с площади 1 м². Если посев зерновых культур проведен широкорядным способом (15 см между рядками), для дальнейших расчетов удобно брать образцы с двух рядков длиной 0,83 м – их площадь составляет 0,25 м², а с четырех площадок одной делянки 1 м².

Растения с каждого квадрата или рядков аккуратно, сохраняя целостность каждого, вынимают из почвы, отряхивают или отмывают от земли и связывают в отдельный снопок. К снопу прикрепляют этикетку с обозначением номеров площадки и пробы. Все снопки с делянки соединяют шпагатом в один общий снопок и снабжают общей этикеткой с указанием номера делянки, варианта, даты взятия образца, фазы развития, названия опыта, исполнителя.

В лаборатории из всех проб отбирают сорные растения, подсчитывают их общее число, взвешивают сырую и после просушивания сухую массу. После удаления сорняков подсчитывают число культурных растений и проводят все запланированные измерения (кустистость, высоту растений). Если предусмотрено программой исследований, растения разделяют на отдельные органы. Взвешивают сырую массу и высушивают до постоянной массы в сушильных шкафах. Если при взвешивании сырой массы расхождение превышает 50 % в показаниях отдельных снопиков, то в тот же день, в крайнем случае – на следующий, берут повторный образец. После высушивания и взвешивания снопов из них отбирают для химического анализа среднюю пробу 200–250 г.

При проведении химического и биохимического анализов для получения более надежной средней пробы рекомендуют предварительно расчленить растения на отдельные органы – листья, стебель, колосья (метелки, початки), зерно. Делают это сразу же после отбора пробы с делянки. Затем устанавливают весовое соотношение отдельных частей растений как в сыром, так и в сухом состоянии. В дальнейшем анализируют расчлененные органы в отдельности.

Надо отметить, что отбор образцов для анализов и учетов ни в коем случае не должен производиться на учетной площади делянки предназначенной для учета урожайности. В связи с этим при определении площади опытных делянок необходимо учесть все отборы, предусмотренные программой исследований. Для сокращения площади делянок в одной пробе надо стремиться определить по возможности большее число показателей. Например, учет высоты растений можно совместить с химическими анализами биомассы, определением накопления сухого вещества.

Исследования почв на участке после закладки опыта. В агрохимических опытах большое значение в интерпретации результатов полевого опыта имеет анализ почвы. После разбивки опытного участка на делянки отбирают смешанные почвенные образцы для агрохимической характеристики почвы. С этими образцами сравнивают результаты исследований в период проведения опыта и в конце его. Позитивные и негативные изменения почвенного плодородия, влияющие на рост, развитие и урожайность культур, устанавливают при сопоставлении агрохимических показателей почвы различных вариантов опыта.

Географическая сеть опытов с удобрениями рекомендует отбирать почвенные образцы до внесения удобрений с каждой делянки, а после внесения, посева и посадки опытных культур, как минимум, с двух несмежных (несоприкасающихся) повторений. На остальных повторениях дополнительно берут 4–6 образцов, расположенных равномерно на площади опытного участка. Каждый смешанный образец составляют из 5–10 индивидуальных образцов, взятых в 5–10 точках, расположенных равномерно по длине делянки. Индивидуальные образцы отбираются в зависимости от целей исследований как с пахотного слоя (0–20–25 см), так и подпахотного.

Для взятия смешанных образцов используют почвенные буры Осипова БОП-30-140, БОП-30-70 или тростьевые буры. При отсутствии буров используют обычные штыковые лопаты. При отборе почвенных проб бурами для получения достаточной для анализов массы смешанного образца число индивидуальных проб зависит от метода отбора (используемого бура) и колеблется в среднем от 5 до 20 индивидуальных проб. Если индивидуальный почвенный образец отбирается лопатой, то почву, взятую из одной точки, высыпают на полиэтиленовую пленку, тщательно перемешивают и берут среднюю пробу строго определенного объема, которую помещают в мешок или коробку. После смешивания всех индивидуальных проб из общей массы отбирают смешанный образец в 300–400 г. Так отбирают смешанные образцы в случае, если программой предусматривается проведение только агрохимических исследований почвы для определения питательного режима в период вегетации растений в установленные сроки или в определенные фазы развития. Если запланирован одновременный отбор растительных проб, то почвенные пробы отбирают из-под растений, взятых для анализа.

Учет урожайности в опыте. Урожайность культуры является главным показателем эффективности воздействия любого изучаемого фактора. Ее величина является интегрированным показателем воздействия на растение абиотических и биотических (как регулируемых, так и нерегулируемых) факторов среды. Нет более удобного и надежного критерия для оценки их влияния на продуктивность растений. Именно поэтому уборка и учет урожая являются наиболее ответственными работами при проведении полевых экспериментов. Небрежность при их выполнении ведет к искажению данных и обесцениванию результатов опыта. Условия и приемы уборки урожая определяются главным образом культурой, но всегда необходимо руководствоваться рядом общих требований к ее организации и проведению. Урожай убирают способом и в сроки, определяемые на месте, руководствуясь общим требованием к полевым работам – их одновременностью и однокачественностью.

Подготовка к уборке. За несколько дней до уборки тщательно осматривают опыт. Учетную площадь делянки отделяют от защитных полос. Для этого по натянутым при разбивке опыта шнурам или другим используемым маркерам обозначают границу. Особенно важно эту работу провести, если растения слишком густы, полегли или перепутались, так что границы защитных полос плохо видны. Защитные полосы убирают первыми. Для культур сплошного посева их выжидают или выкашивают. Убранные растения удаляют с поля, чтобы не допустить случайного смешивания их с урожаем делянок. Для пропашных культур отсчитывают число борозд или рядков, приходившихся на защитные полосы; удаляют растения и увозят их с поля.

Затем вновь производят осмотр учетных делянок. При этом отмечают все повреждения и выпадения растений. Если таковые обнаруживаются, то делают

выключки, а при повреждении более 50 % учетной площади – выбраковки. Под *выключкой* понимают часть учетной делянки, исключенную из учета вследствие случайных повреждений или ошибок, допущенных во время работы (Доспехов Б.А., 1979). Выключку части делянки, а особенно целой делянки производят, когда для этого есть веские причины. Таковыми могут быть: а) повреждения, вызванные стихийными явлениями природы, неравномерно повредившими растения при условии, что эта неравномерность не является следствием изучаемых в опыте факторов; б) повреждения в результате потравы скотом, птицей, грызунами; в) ошибки при закладке и проведении опыта. Целые делянки исключают из опыта лишь в крайнем случае. Для обоснования необходимости произвести выключки или выбраковки целых делянок необходимы зарегистрированные в журналах при возникновении данные о повреждении (вымочке, потраве, ошибке в работе), заведомо изменившем урожайность делянки или ее части. То есть, основанием для выключки или выбраковки целых делянок до уборки должны быть совершенно ясные внешние объективные причины. Делать выключки и браковать делянки на основании чисто субъективного впечатления о неоднородности повторений или частей делянки ни в коем случае не следует.

На культурах сплошного посева, обнаружив повреждение и обосновав необходимость выключки части учетной площади делянки, его ограничивают кольщиками и шнуром, обмеривают. Удобнее выключки делать прямоугольными или же выключать определенную часть делянки: половину, треть, четверть. Если учетная площадь менее 20 м², но имеется достаточно повторений, лучше вообще не делать выключек, а выбраковывать делянки целиком. Все выключки и выбракованные делянки выкашивают, и урожай выносят за пределы опыта. При уборке урожайность рассчитывают по фактически убранной площади.

Перед уборкой пропашных культур необходимо подсчитать все растения для установления числа выпавших. Если изреживание не связано с изучаемым фактором и не превышает 20–30%, вводятся поправки на недостающие растения. При выпадении большего количества растений делянку целиком исключают из учета. Для решения вопроса о правомерности выключки и методе введения поправок на изреживание необходимо по документам установить время выпадения растений.

Если недостающие растения выпали поздно (т. е. ближе к уборке), то правомерен следующий способ поправки на недостающие растения. Прежде всего, находят продуктивность одного растения; для этого фактически убранный урожай делят на число фактически убранных растений. Умножив полученную величину на число недостающих растений, вычисляют предполагаемый недобор урожайности, на которую увеличивают фактический урожай. Например, к уборке на учетной площади произрастает 462 корнеплода (P_y) вместо 500 (P_n); масса убранных корнеплодов (A) составляет 452 кг. Для определения урожайности (Y) с учетом поправки воспользуемся пропорцией: $Y = A \cdot P_n / P_y$. Возможная урожайность с учетом выпавших растений составляет $452 \cdot 500 / 462 = 489,2$ кг, что составит 48,9 т/га. Поправку можно ввести и иначе. Убирают делянку полностью. По числу убранных растений вычисляют фактическую учетную площадь, которую и используют в расчетах урожайности культуры. Например, учетная площадь делянки 100 м², произрастает к уборке 462 (P_y) корнеплода вместо 500 (P_n); масса убранных корнеплодов (A) составляет 452 кг. Рассчитываем площадь питания 1 растения – $100:500 = 0,2$ м², и фактическую учетную площадь – $462 \cdot 0,2 = 92,4$ м². Урожайность делянки составляет 48,9 т/га.

При раннем выпадении отдельных растений оставшиеся соседние растения, вследствие увеличения площади питания, развиваются лучше, т. к. они, как и краевые растения, получают дополнительную площадь питания, поэтому введение поправки на недостающие растения по среднему весу одного растения может внести в окончательный результат ошибку. В таком случае перед уборкой удаляют с делянки все растения, граничащие с пустыми местами в рядках; учитывают только растения, использующие технологически обоснованную площадь питания. По среднему весу одного учтенного растения, умноженному на плановое число растений, восстанавливают истинный урожай с делянки. Этот метод поправок наиболее обоснован, но он осложняет технику учета.

Поправки следует применять лишь при относительно небольшом числе выпавших растений и случайном характере этих выпадений. При выпадении растений целыми пятнами или рядками правильной делать обычные выключки.

Уборка урожая. Уборка урожая организуется в зависимости от метода учета. Существуют *прямой* и *косвенный* методы учета урожая. При прямом способе учета урожайности убирают растения со всей учетной площади делянки, при косвенном – ее часть, представляющую составленную тем или иным способом среднюю пробу из урожая всей делянки.

Прямой метод учета урожая. Уборку в полевых опытах, если это не является предметом изучения, начинают при полном созревании. Ее можно производить как вручную, так и уборочными машинами. При уборке вручную для достижения однородности работы по делянкам (одинаковой высоты жнивья и одинаковой чистоты уборки) все рабочие (лаборанты-исследователи) убирают вместе каждую делянку опыта, постепенно переходя от одной делянки к другой. При очень малых делянках один человек убирает урожай всей повторности опыта или весь опыт. При использовании средств механизации (жнейки, копалки, самоходные комбайны) весь опыт должен убираться одним и тем же механизмом при одинаковых регулировках и скорости. Уборку опыта, если изучаемые приемы не влияют на скорость созревания, необходимо завершить в один день. Если для этого нет возможности, то убирают целое число повторений. При различных сроках созревания растений на вариантах их убирают по мере достижения полной спелости.

Косвенные методы учета урожая. Для определения урожайности культуры используют не весь урожай делянки, а лишь ее часть, представляющую среднюю пробу из урожая всей массы. Наиболее распространен учет по пробному снопу, малыми площадками, по отдельно взятым растениям.

Сущность учета урожая по пробному снопу заключается в том, что обмолачивают не весь урожай учетной делянки, а лишь среднюю пробу из него – пробный сноп. Взвесив массу зерна и соломы в пробном снопе и зная соотношение массы урожая всей делянки и пробного снопа, рассчитывают урожай зерна и соломы со всей делянки. Учет урожайности по пробному снопу заключается в том, что растения на учетной площади делянки скашивают, оставляя их там, где произрастали. Проходя по диагонали делянки, руками берут часть растений, формируя среднюю пробу (пробный сноп) которая должна составлять не менее 1–2 % общей массы урожая. Среднюю пробу связывают в один или несколько снопов. Пробный сноп берет со всех делянок один человек, обычно это техник-агрохимик или лаборант. Оставшиеся после отбора пробного снопа растения связывают и взвешивают вместе с пробным снопом. Затем пробный сноп взвешивают отдельно на специальных весах с точностью до 10 г и укладывают в мешок. Остальная масса урожая больше не нужна для дальнейшего учета и по-

стует в хозяйственное использование. Для страховки на случай повреждения или утери желательно с каждой делянки отбирать по два пробных снопа, которые формируют независимо со всей площади делянки.

Пробные снопы с этикетками кладут в мешки или другие приспособления и увозят в специальное помещение или под навес, где их высушивают до постоянной массы. Для определения времени обмолота, снопы периодически взвешивают. Окончательное взвешивание и обмолот производят после того, как убыль в весе прекратится. В зависимости от погоды снопы высушают за 7–14 дней. Если сушку осуществляли в сушилках, то перед окончательным взвешиванием необходимо 1–2 дня продержать вновь в сарае, чтобы они дошли до постоянного веса. После высухания пробных снопов до воздушно-сухого состояния их взвешивают вместе с мешком, обмолачивают любым доступным способом и взвешивают зерно и мешок. Массу соломы определяют по разнице между общей массой и зерном. Все взвешивания записывают в полевой журнал и пересчитывают урожай пробного снопа на урожай с учетной делянки и гектара. Урожай зерна (соломы) с учетной площади (У) рассчитывают по формуле:

$$У = А \cdot В/Б, \text{ кг/делянку,}$$

- где: А – общая масса урожая с учетной делянки, включая пробные снопы, кг;
Б – общая масса сырого (взвешенного на поле при отборе) пробного снопа, кг;
В – масса зерна (соломы) с пробного снопа после высушивания, кг.

Урожай с делянки пересчитывают на 1 га.

Другие косвенные методы учета урожая основаны на взятии в пределах опытной делянки пробных площадок, полос, борозд и т. п., с большей или меньшей точностью характеризующих урожай всей делянки. Принципиальное отличие их от метода пробного снопа заключается в том, что оставшиеся на делянке растения не убираются, т. е. их убирают на хозяйственные нужды все делянки вместе. По существу, все сводится к уменьшению размера учетной площади делянки. Все эти методы учета урожая имеют невысокую точность и в условиях стационарных опытов почти не применяются.

Наиболее распространенными модификациями косвенного метода являются учет урожайности по пробным площадкам, полосам, бороздам, рядкам. Учет урожая методом пробных делянок производится следующим образом. По диагонали учетной накладывают рамки, ограничивающие по 0,5 или 1 м² посева. Общая площадь таких площадок должна составлять 5–10 % общей площади делянки. Сжатые с делянки растения объединяют в один сноп, прикрепляют этикетку и вывозят в сушильный сарай. После просушивания до постоянной массы сноп взвешивают, обмолачивают, взвешивают зерно и по разнице определяют массу соломы. Урожай с пробной площадки пересчитывают на 1 га.

При учете по пробным рядкам и бороздам (метод линейного метра) на учетной площади делянки по диагонали или в шахматном порядке кладут линейки длиной 1 м. Убирают растения с двух соседних рядков, расположенных вдоль линейки. Убранные растения высушивают, обмолачивают, взвешивают и определяют урожай с погонной длины рядка 1 м. Умножив урожай с 1 рядка на ширину междурядий, определяют учетную площадь, а затем пересчитывают на урожайность с 1 гектара. Можно воспользоваться формулой:

$$У = А/Б \cdot 10000 \text{ кг/га (ц/га, т/га),}$$

- где: А – масса зерна с 1 рядка, кг (ц, т);
Б – ширина междурядий, м.

Основное преимущество косвенного учета урожая заключается в возможности обходиться без больших помещений для хранения поделяночных урожаев до обмолота, а также сокращения затрат труда и средств на проведение уборки. Он незаменим при проведении большого числа опытов в производственных условиях, дает возможность перевозить пробные снопы на значительное расстояние и производить их обработку в приспособленной обстановке. О точности такого учета нет единого мнения. Вследствие сокращения потерь он обычно дает несколько более высокие абсолютные цифры (больше приближенные к потенциальной продуктивности). Достаточно точную оценку косвенный учет урожайности дает при закладке опыта на больших делянках. Если площадь делянки не превышает 10–20 м², обязательно проводится только прямой учет урожайности.

При всех способах учета урожайность пересчитывают на стандартные показатели влажности и чистоты. Так, урожайность зерна хлебных злаков приводят к 14%-ной влажности и 100%-ной чистоте. Для пересчета используют формулу:

$$Y = \frac{Y_{\phi} (100 - B_{\phi})(100 - C)}{100 (100 - B_{ст})}, \text{ ц/га (т/га)},$$

где Y – урожайность зерна при стандартной влажности, ц/га (т/га);
 Y_{ϕ} – урожайность зерна с фактической влажностью при уборке, ц/га (т/га);
 C – засоренность зерна, %;
 B_{ϕ} – фактическая влажность зерна при уборке, %;
 $B_{ст}$ – стандартная влажность зерна, %.

Зерновые и другие культуры сплошного сева. При уборке жаткой, серпами или косами скошенную массу оставляют на делянке. Применять жатку имеет смысл при величине делянки не меньше 200–300 м². Каждую делянку убирают в отдельности за один или несколько проходов. Удобнее убирать подряд (одним проходом жнейки) несколько делянок, например одно повторение. Необходимо следить, чтобы урожай не перемещался с делянки на делянку.

Урожай с каждой учетной делянки сейчас же связывают, снопы пересчитывают и складывают в копны. На этикетках, которых должно быть как минимум 2, простым карандашом пишут название опыта, вариант, повторность, номер делянки, номер снопа и общее количество снопов. Если позволяет погода, снопы просушивают в поле. В ином случае их немедленно перевозят в сноповой сарай. При перевозке урожая в сарай необходимо соблюдать осторожность, для предотвращения потерь. Снопы с одной делянки желательно поместить в отдельный мешок или ящик. При перевозке одновременно урожаев с нескольких делянок их обязательно нужно перестилать брезентом для устранения потерь и смешивания зерна.

При хранении снопов до обмолота следует принять все меры к исключению возможности потерь урожая, смешивания зерна с разных делянок и опытов, уничтожения птицами и грызунами. Для этого необходимы специальные помещения (сноповые сараи) с большим числом отделений или закровов, обеспечивающих не только хранение снопов, но и их досушивание.

Общий урожай взвешивают перед самым обмолотом, причем проверяют число снопов, записанное на этикетке. Обмолот урожая делянок производят на любой небольшой молотилке. Молотилку следует настроить так, чтобы обеспечивалось хорошее отделение зерна от соломы и минимальные потери зерна. После обмолота каждой делянки молотилка должна проработать определенное время (устанавливается опытным путем) на холостом ходу и, если

конструкция позволяет, остановлена и очищена от остатков зерен, для предотвращения потерь и засорения. Если молотилка не отвеивает полову, зерновую массу очищают на веялке с возможно меньшим числом сит.

Зерно взвешивают, отбирают среднюю пробу 2–3 кг для определения влажности, чистоты и фракционного состава зерна, а также определения его качества. Многие авторы считают обязательным взятие проб на влажность для приведения урожая зерна к стандартной влажности (14–15%). Солому (и мякину) обычно не взвешивают, а количество ее определяют по разности между общим весом урожая перед обмолотом и весом зерна.

Особого внимания при учете урожая заслуживает применение самоходного комбайна. Особенно успешно применение малогабаритных комбайнов. Уборка комбайном позволяет сократить объемы специальных помещений для хранения урожая, избежать перевозки снопов и устранить ряд промежуточных операций при учете, что существенно сокращает ошибку.

Для уборки урожая комбайном необходимо, чтобы ширина учетной площади делянки соответствовала ширине захвата жатки или была кратна ей. Механизм комбайна должен быть предварительно отрегулирован на оптимальный режим работы на данной культуре, а также необходимо определить продолжительность работы молотильного аппарата вхолостую между уборкой двух делянок. Установленный режим работы комбайна следует выдерживать в течение уборки на всем участке опыта.

Перед началом уборки комбайном убираются все защитные полосы – вокруг опыта, между повторениями и делянками. Так как размещение вариантов в повторении чаще всего рандомизированное, то выполнить рекомендации убирать делянки с одноименными вариантами по повторениям весьма затруднительно. Такая уборка требует предусмотреть при закладке опыта защитные полосы такой ширины, чтобы обеспечить разворот комбайна. Современные комбайны позволяют производить уборку делянок подряд по повторениям или вариантам в зависимости от схемы размещения опыта. При этом комбайн разворачивается за пределами опытного участка, на защитной полосе вокруг опыта. При этом необходимо увеличить продолжительность работы комбайна вхолостую при переходе от одной делянки к другой. Прежде чем приступить к уборке следующей делянки, необходимо убедиться, что в приемную тару зерно не поступает. При уборке урожая самоходным комбайном имеется полная возможность организовать сортирование и взвешивание зерна в поле. Учет урожая соломы и половы производят на основании обмолота пробного снопа. Если расположение опыта не позволяет убирать урожай комбайном, то его используют лишь для обмолота, а растения скашивают вручную.

Особенности учета урожая трав (клевера, вики и луговых трав). Учет можно вести как по всей делянке, так и пробному снопу. В первом случае скошенные растения оставляют на делянке, высушивают и сено взвешивают в поле. Во втором случае из скошенной массы набирают пробный сноп, сырую массу урожая всей делянки (вместе с пробным снопом) взвешивают в поле при укосе, а выход сухой массы определяют по пробному снопу. В пробных снопах (до высушивания) определяют также ботанический состав естественного травостоя и соотношение компонентов в травосмесях. Особенно широко косвенный учет применяют, когда нет возможности высушить всю массу травы, например, в затянувшиеся дождливые дни.

Учет урожая картофеля и корнеплодов. При прямом учете выкапывают все растения с учетной площади делянки. При большой влажности почвы клуб-

ни или корнеплоды раскладывают до взвешивания на несколько часов нетолстым слоем на делянке для подсушки. Затем их очищают от земли, чаще всего путем встряхивания на ручном грохоте, и взвешивают. Взвешивают в поле или даже непосредственно на делянке. Если взвешивание производят в хранилище, то клубни или корнеплоды складываются в один или несколько мешков, снабжаются этикетками, на которых простым карандашом указывают название опыта, номер делянки, вариант, повторение, номер мешка и общее их количество с делянки. Одну этикетку помещают вовнутрь мешка, вторую – снаружи. Более удобным следует считать взвешивание урожая непосредственно на делянке, помещая урожай в корзины или специальные носилки с ящиком. Если предусмотрено программой исследований, взвешивают и ботву. Если варианты различаются по степени высухания ботвы, то с каждой делянки отбирают пробы для определения влажности. При сильной загрязненности клубней картофеля или корнеплодов с каждой делянки берут по 20 кг и после отмывки их водой определяют выход чистого урожая без учета налипшей почвы.

Обязательно берутся пробы корнеплодов и клубней для определения качества урожая и других предусмотренных программой анализов. Размер определяется запланированными сопутствующими анализами. В среднем это 10–15 кг картофеля и нескольких десятков корней корнеплодов. Эти пробы составляют таким образом, чтобы соотношение крупных, средних и мелких экземпляров соответствовало их соотношению во всем урожае делянки. Пробы упаковывают, снабжают этикетками и перевозят к месту хранения.

При косвенном методе учета урожая подсчитывают число растений на всей учетной площади делянки. Убирают не менее 20 растений. Очищают от излишков земли, взвешивают ботву и продуктивную часть (клубни, корнеплоды). Определив массу 1 растения и умножив на их количество, определяют урожайность с учетной площади делянки.

Учет урожая многосборовых овощных культур (огурец, томат, капуста цветная, перец, дыня, арбуз) производят следующим образом. По мере созревания плодов их собирают и взвешивают. Для определения общего урожая суммируют урожай всех сборов за вегетационный период. Овощные культуры во время уборки сортируют на товарную и нетоварную продукцию.

Учет урожая прядильных культур (льна, конопли) в общем сходен с учетом зерновых культур и может производиться как по всей массе, так и по пробному снопу. Однако, если в этой средней пробе предполагается определять выход волокна, она должна быть не меньше 30 кг (в сыром состоянии) и связываться не в один, а в несколько снопов. Поэтому учет по пробным снопам имеет смысл для этих культур лишь на делянках площадью $\geq 100 \text{ м}^2$. Соломку прядильных культур обязательно взвешивают непосредственно после обмолота, а не определяют по разности.

Первичная обработка цифрового материала. Необходимым условием правильности проведения всех расчетов по опыту является наличие доброкачественных и находящихся в порядке исходных данных, полученных непосредственно при взвешивании урожаев на поле и в сноповом сарае или лаборатории. Все результаты взвешиваний записываются в полевой журнал, где им отводятся соответствующие графы. Урожайность по каждой делянке пересчитывают в центнерах на гектар. Затем они для каждого варианта суммируются по повторениям.

Эти данные подвергаются математической обработке предусмотренными в программе методами вариационной статистики.

Документация. Первичными документами по каждому полевому опыту являются "Дневник полевых работ и наблюдений" и рабочие тетради. В дневнике фиксируются все работы и наблюдения, а также данные всех учетов, в рабочих тетрадях ведутся все необходимые записи массовых наблюдений, анализов и учетов. Записи в "Дневнике полевых работ и наблюдений" ведут простым карандашом, все поправки необходимо обязательно оговаривать.

Основным документом, включающим все сведения о полевом опыте: тема, обоснование опыта и задачи, схема, программа, план, характеристика опытного участка, методика исследований, записи всех агрономических работ, обработанные результаты наблюдений и анализов, урожайные данные, результаты статистической обработки урожайных данных и другие сведения, является полевой журнал. Журнал хранят в помещении, все записи в нем производят своевременно, заполняя его на основе первичной документации темными чернилами.

Особенности методики проведения опытов на рисе. На рисовых севооборотах полевые опыты проводятся на крупных делянках (чеках и картах) и с таким расчетом, чтобы оградить посеvy сопутствующих культур от подтопления, вымокания и гибели. Одно из основных требований при закладке полевых опытов – выравненность участка по почвенному плодородию. Последнее наиболее важно, т. к. возделыванию риса предшествует тщательная планировка поля ± 5 см, а при постановке опытов желательна даже ± 3 см. При этом нарушается естественное плодородие почвы. В местах срезов пахотного горизонта почвы оно падает и тем больше, чем глубже срез. Даже применение кулисных планировочных работ полностью не избавляет от пестроты плодородия почвы вследствие капитальной планировки рисовых полей. Следовательно, основное требование, предъявляемое к опытному участку, а именно выравненность его по почвенному плодородию, при культуре риса часто не соблюдается, и с этим приходится считаться как с неизбежным злом. Чтобы повысить точность опытных работ в этих условиях, на рисовых полях, отводимых под опытный участок, необходима планировка только кулисным способом. Перед закладкой мелкоделяночных агротехнических и стационарных опытов нужны уравнительные посеvy риса, учет урожая на которых осуществляется дробными площадками – 50–100 м², что обеспечивает полную характеристику чека по уровню плодородия почвы.

Азотные удобрения, применяемые под рис в виде сульфата аммония, а также фосфорные и калийные удобрения хорошо поглощаются почвой и локализуются в местах внесения. Поэтому при постановке кратковременных опытов с удобрениями не требуется каких-либо разграничений между вариантами опытов.

В длительных же стационарных опытах при ежегодной обработке почвы (частичном ее перемещении), а также в результате постоянного манипулирования водным слоем в период орошения риса и сопутствующих культур рисового севооборота и из-за сброса воды при применении гербицидов, миграция удобрений становится ощутимой. В этих условиях необходимо предусмотреть надежное ограждение вариантов и повторностей земляными валиками или синтетическим материалом. Требуется также разграничение вариантов в мелко- и мелкоделяночных опытах с регуляторами роста и пестицидами.

При изучении экспериментальных рисовых севооборотов (в пространстве) необходимо, чтобы паровые и травяные поля были ограждены от подтопления грунтовыми и фильтрационными водами, с тем чтобы предотвратить вымокание и гибель сопутствующих культур. Достигается это постановкой опытов на больших площадях, облицовкой оросительных каналов и эффективно работающей водоотводной системой (сбросные каналы, коллекторы).

12.3. Агрохимическое обследование почв и составление картограмм

Для рационального использования удобрений в конкретных условиях хозяйств необходимо знать содержание подвижных форм элементов питания в почве, кислотность и другие ее показатели на каждом поле. Агрохимическим обследованием почв занимаются агрохимические лаборатории.

Подготовка к агрохимическому обследованию почв хозяйства. Для выполнения работ по агрохимическому обследованию необходим план землепользования хозяйства с нанесенными на нем границами полей севооборотов. Устанавливают объем работы и порядок ее проведения. Следует ознакомиться с ранее проведенным обследованием, почвенной картой, очерками и другими материалами – книгой истории полей, применением удобрений и урожайностью за последние 3 года.

Подготавливают картографическую основу для выполнения полевых работ. Для этого изготовляют 4-5 копий с плана землепользования. Агрохимик вместе с агрономом осматривают все поля и другие сельскохозяйственные угодья, на которых будет проводиться обследование. Затем на картографическом материале наносят сетку элементарных участков. *Элементарный участок* – это наименьшая площадь, характеризующаяся одним смешанным образцом. Площадь элементарного участка, а отсюда и частота взятия образцов зависят от пестроты почвенного покрова. В полевых севооборотах на черноземах один образец отбирается с 10–15 га, на серых лесных и дерново-подзолистых почвах – с 5–8 га, в овощных и прифермских севооборотах – примерно в 2 раза чаще. В овощных севооборотах в орошаемых условиях образец отбирается с 2–4 га.

Участки на плане размечают прямоугольной или квадратной формы. Помечают их порядковыми номерами для всего хозяйства или подразделения. Порядковый номер пишут в правом верхнем углу четырехугольника, обозначающего элементарный участок.

Для планирования сроков проведения работы необходимо учитывать, что на неудобренных полях и удобренных в нормах 45-60 кг/га д. в., образцы можно отбирать в течение всего вегетационного периода: при внесении более высоких норм – спустя 1,5–2 месяца после внесения удобрений. На полях, удобренных навозом, образцы можно отбирать в течение всего вегетационного периода, но нужно следить, чтобы в пробы не попадало удобрение.

Образцы отбирают на полную глубину пахотного слоя, а на орошаемых участках – и из подпахотного слоя, но не более 15 % от количества образцов из пахотного слоя.

Полевые обследования. Начинают обследования с разбивки поля на элементарные участки. Для этого на границе поля отмеряют расстояние, равное длине элементарного участка и устанавливают вежу. Так провешивают всю границу (линия АВ, рис. 116). Также провешивают линию СД. По линиям АД и ВС ставят по одной веже на расстоянии, равном половине ширины элементарного участка, затем до конца поля – на расстоянии, равном ширине участка.

Образцы следует брать с преобладающей почвенной разновидности в пределах элементарного участка. Смешанный образец почвы составляют из 20 индивидуальных проб. Их берут "ходом по оси" элементарного участка с 10 площадок, по 2 пробы с каждой. Работник, отбирающий образцы, идет от вежи на линии АД, ориентируясь на вежу противоположной стороны поля, до

линии, ограничивающей длину участка. Чтобы установить расстояние между точками отбора проб, нужно длину элементарного участка в шагах (отбирающего пробы) разделить на 10.

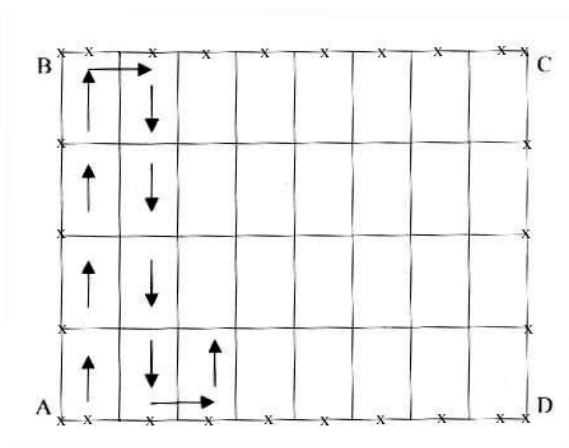


Рис. 116. Схема разбивки поля на элементарные участки и отбора образцов

x – вехи
→ – направление хода при отборе образцов

Смешивают пробы в небольшом ведре, отбирают средний образец и помещают его в мешочек. В него же кладут этикетку с указанием наименования хозяйства, севооборота, поля, культуры, номера образца, глубины взятия, даты и фамилии бравшего образцы. Доставленные с поля образцы необходимо быстро просушить на листах бумаги до воздушно-сухого состояния в хорошо проветриваемом помещении, но не на солнце. Высушенные образцы высыпают в мешочки, упаковывают, снабжают ведомостью и отправляют в лабораторию для анализа.

Лабораторные агрохимические исследования. Поступившие в лабораторию образцы размалывают и просеивают. Хранят образцы в коробках. В образцах почвы определяют: pH солевой вытяжки, подвижный фосфор, обменный калий. В части образцов определяют некоторые другие показатели. В крупных агрохимических лабораториях анализы проводят с помощью высокопроизводительного оборудования. Результаты анализов заносят в ведомости.

Составление и использование агрохимических картограмм. В агрохимических лабораториях обычно составляют картограммы кислотности почв, содержания подвижного фосфора, обменного калия и некоторые другие. Методы анализа и группировки почв разрабатываются для определенных зон и групп культур. Для составления картограммы на копию плана землепользования с нанесенной на него сеткой элементарных участков переносят из ведомости результаты анализов по каждому элементарному участку. Числа вписывают простым карандашом в середину изображения элементарного участка.

Затем в соответствии с классом, к которому относятся числа, клетки элементарных участков на плане обводят цветными карандашами или делают ими пометку. Клетки одинакового цвета объединяют в общий контур и закрашивают до границ элементарных участков. В контур объединяют не менее двух участков, относящихся к какому-нибудь классу. Если окажется один элементарный участок иного класса, то его закрашивают, как ближайшие. Картограмма сопровождается необходимыми надписями.

На основе проведенного обследования составляется агрохимический очерк, в котором приводятся сведения о хозяйстве, агрохимические свойства почв и рекомендации по рациональному использованию удобрений под отдельные культуры и в севообороте хозяйства. Для этого учитывают наличие удобрений, использование их в прошлом, результаты полевых опытов, проведенных в сходных условиях.

12.4. Статистический анализ результатов агрохимических исследований

12.4.1. Среднее арифметическое значение

В исследованиях по агрохимии часто используют такую важную описательную статистическую характеристику как среднее значение любого признака. *Среднее* – очень информативная мера "центрального положения" наблюдаемой переменной, особенно если сообщается ее доверительный интервал. *Доверительный интервал* для среднего представляет интервал значений вокруг оценки, где с данным уровнем доверия находится "истинное" (неизвестное) среднее популяции, признака или варианта опыта.

Для определения значения среднего арифметического любого признака (x), например, высоты стеблей сорта риса Лиман, мы проводим необходимое количество измерений (от 10 до 200 растений в зависимости от цели и характера опыта). Составляется вариационный ряд значений высоты растений (10, 20, 50 случаев): 95, 85, 87, 91, 79, 83, 86, 82, 78, 89 см. Затем все значения вариационного ряда суммируются: $95+85+87+91+79+83+86+82+78+89 = 855$. Сумму делим на количество слагаемых, получим среднее арифметическое значение – $855:10 = 85,5$ см. Эти результаты можно получить на ПЭВМ по программе Doc Statpak, Statistica 6.0 и др. После введения десяти значений измерений высоты растений по программе – статистическая обработка, мы получаем следующие статистические значения: средняя арифметическая высоты растений (\bar{x}); ошибка средней арифметической ($S_{\bar{x}}$), коэффициент варьирования признака (V), среднее квадратичное отклонение (σ) и ошибку (точность) опыта (m). Составляется таблица статистической характеристики сорта Лиман по высоте растений (табл. 230).

Таблица 230 – Характеристика растений риса по высоте

Признак	Средняя арифметическая (\bar{x}), см	Ошибка средней арифметической ($S_{\bar{x}}$)	Коэффициент вариации (V), %	Среднее квадратичное отклонение, (σ)	Ошибка (точность) (m), %
Высота растений, см	85,5	1,67	6,2	5,3	1,96

12.4.2. Ошибка средней арифметической

Для оценки того факта, насколько рассчитанная величина средней арифметической отражает генеральную совокупность, служит значение ошибки средней арифметической ($S_{\bar{x}}$), показывающая, в каких пределах может варьировать значение средней для разных выборок из генеральной совокупности. На практике это

обозначается $85,5 \pm 1,67$ см. Это значит, что высота растений сорта Лиман варьирует от средней всей генеральной совокупности от $85,5+1,67 = 87,17$ до $85,5-1,67 = 83,83$ см. Наша выборка из 10 растений варьирует от 83,83 до 87,17 см. Следует заметить, если среднее арифметическое мы определили 85,5 см, то ошибка среднего должна быть 1,67 см (но не 1,6 – это не корректно!).

12.4.3. Коэффициент вариации

Коэффициент вариации, варьирования, изменчивости, вариабельности, вариабелитета и др. указывает на изменчивость высоты растений в зависимости от среднего значения (6,2 %). В статистической литературе его обозначают V (variation – вариация). Он является относительной величиной изменчивости, выраженный в процентах, и имеет всегда положительное значение. Изменчивость принято считать незначительной или слабой, если коэффициент вариации не превышает 10 %; средней, если его значение выше 10, но менее 20%; и значительной или высокой, если он составляет более 20%. Чем больше выборка (измерений) в опыте, тем меньше коэффициент вариации. Иногда в практической работе коэффициент варьирования бывает 50-80-90-100-110 %. Такой опыт нужно браковать.

12.4.4. Среднее квадратичное отклонение

Среднее квадратичное отклонение характеризует ошибку, которая в среднем допускается, когда рассматривают среднее в ее генеральной совокупности (σ). Его еще иногда называют стандартной ошибкой среднего значения признака, имеет всегда положительное значение. Значение среднего квадратичного отклонения, возведенное в квадрат (σ^2), показывает дисперсию. Дисперсия и стандартное отклонение служат основными мерами вариации, расщепления значений изучаемого признака.

12.4.5. Ошибка опыта

Значение ошибки опыта показывает, с какой точностью был проведен эксперимент. Для полевого опыта обычно принято считать, если ошибка равна не более 5 %, значит эксперимент проведен правильно, корректно.

Для оформления научного отчета после проведения статистической обработки можно составить таблицу признаков с соответствующей статистической характеристикой (табл. 231).

Таблица 231 – Характеристика растений риса количественным признакам

Признак	$S\bar{x}$	V, %	σ	m, %
Высота растений, см	70,7±1,51	6,1	4,8	1,9
Длина главной метелки, см	13,4±0,31	7,2	1,0	2,3
Число зерен с главной метелки, шт.	99,3±5,40	17,2	17,1	5,4
Число пустых колосков в метелке, шт.	31,8±3,75	37,3	11,9	11,8
Число колосков (всего) в метелке, шт.	131,3±5,64	13,6	17,8	4,3
Масса зерна с главной метелки, г	2,3±0,19	25,9	0,6	8,2
Масса зерна с растения, г	4,3±0,79	37,9	2,5	18,3
Масса 1000 зерен, г	23,1±0,88	12,3	2,8	3,9

Аналогичные итоговые таблицы можно составлять по любым сельскохозяйственным культурам, для любых признаков, по любому полевому, вегетационному или лабораторному опыту, при определении количества питательных элементов в различных почвах, разным предшественникам, вариантам опыта.

12.4.6. Критерий t Стьюдента

Для определения достоверности значений между двумя средними величинами признаков используется критерий t Стьюдента. Пусть число зерен в колосе сорта озимой пшеницы Победа-50 на варианте N₅₀P₅₀K₅₀ равно 33,7±1,28, а без удобрений равно 27,3 ± 1,16. Необходимо определить достоверность различий этого признака на двух вариантах опыта. Для этой цели можно использовать формулу:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_{\bar{X}_1}^2 + S_{\bar{X}_2}^2}},$$

где: t критерий Стьюдента;

\bar{X}_1 и \bar{X}_2 – средние значения количества зерен в колосе, полученные на двух вариантах;

$S_{\bar{X}_1}^2$ и $S_{\bar{X}_2}^2$ – ошибки средних значений количества зерен в колосе, полученные на двух вариантах.

Подставляем значения в формулу:

$$t = \frac{33,7 - 27,3}{\sqrt{1,28^2 + 1,16^2}} = \frac{6,4}{\sqrt{1,64 + 1,35}} = \frac{6,4}{\sqrt{2,99}} = \frac{6,4}{1,73} = 3,7$$

Получено вычисленное значение t = 3,7. По таблице (она имеется во всех книгах по биометрической статистике и в приложении 2) находим "Значение критерия t" на 5 % уровне значимости (Доспехов Б.А., 1979). Для анализа мы брали по 25 растений сорта Победа-50 с каждого варианта, это будет n = 25. Число степеней свободы определяется n-1. В нашем опыте 25-1 = 24. При 24 числах степеней свободы на 5 % уровне значимости t (табличное) равно 2,06. В нашем опыте t фактическое или вычисленное равно 3,7. Если t фактическое больше t табличного, то между двумя средними значениями растений по числу зерен в колосе различия статистически достоверны. Этот результат можно проверить методом однофакторного дисперсионного анализа.

Если в опыте изучалось несколько сортов, линий и гибридов, выращенных на разных фонах минеральных удобрений, или использовались другие факторы (густота растений на делянке, регуляторы роста и др.), то для определения достоверности отличий признаков между собой, можно использовать критерий t Стьюдента. Итоговая таблица может иметь следующий вид (табл. 232). Если t факт. > t табл. – различия между вариантами у сорта достоверны. И, наоборот, если t факт. < t табл. – различия не достоверны.

Таблица 232 – Биометрические показатели сортов риса, выращенных на разных нормах минеральных удобрений

Сорт	Норма минеральных удобрений, кг/га	Высота растений, см		Число колосков в главной метелке, шт.		Число зерен в главной метелке, шт.	
		\bar{X}	t	\bar{X}	t	\bar{X}	t
Лиман	N ₅₀ P ₂₅ K ₂₅	91,4	9,7 ^{*)}	130,1	7,1	119,2	0,45
Лиман	N ₂₅ P ₁₀ K ₁₀	76,4		86,6		115,4	
Лидер	N ₅₀ P ₂₅ K ₂₅	102,6	1,4	108,8	0,1	96,8	0,1
Лидер	N ₂₅ P ₁₀ K ₁₀	97,5		108,0		96,4	
Дружный	N ₅₀ P ₂₅ K ₂₅	102,4	6,1	161,5	5,9	139,4	7,3
Дружный	N ₂₅ P ₁₀ K ₁₀	88,0		109,5		91,7	
Хазар	N ₅₀ P ₂₅ K ₂₅	95,0	3,5	146,1	4,4	137,6	5,8
Хазар	N ₂₅ P ₁₀ K ₁₀	89,2		113,2		101,2	

^{*)} t табл. = 2,09

12.4.7. Дисперсионный анализ

Основной целью дисперсионного анализа является исследование значимости различия между средними величинами признаков. Если просто сравниваются средние значения в двух выборках, дисперсионный анализ даст тот же результат, что и обычный t -критерий Стьюдента для независимых выборок. Если сравниваются две независимые группы признаков или наблюдений, то нужно использовать дисперсионный анализ. Это связано с тем, что при исследовании статистической значимости различия между средними двух (или нескольких) групп мы на самом деле сравниваем (т. е. анализируем) выборочные дисперсии. Фундаментальная концепция дисперсионного анализа была предложена в 1920 г. Р.А. Фишером. Возможно, более естественным был бы термин анализ суммы квадратов или анализ вариации, но в силу традиции употребляется термин дисперсионный анализ.

Для выборки объема n выборочная дисперсия вычисляется как сумма квадратов отклонений от выборочного среднего, деленная на $n-1$ (объема выборки минус единица). Таким образом, при фиксированном объеме выборки n дисперсия есть функция суммы квадратов (отклонений), обозначаемая для краткости "SS" (σ^2) – от английского слова Sum of Squares – сумма квадратов. Далее слово выборочная мы часто опускаем, помня, что рассматривается выборочная дисперсия или оценка дисперсии. В основе дисперсионного анализа лежит разложение дисперсии на части или компоненты.

SS ошибок и SS эффекта. Внутригрупповая изменчивость (SS) обычно называется остаточной компонентой или дисперсией ошибки. Это означает, что обычно при проведении эксперимента она не может быть предсказана или объяснена. С другой стороны, SS эффекта можно объяснить различием между средними значениями в группах, так как они обладают разными средними значениями.

Можно провести проверку значимости, которая в дисперсионном анализе основана на сравнении компоненты дисперсии, обусловленной межгрупповым разбросом, называемым средним квадратом эффекта или MS эффекта и компонентой дисперсии, обусловленной внутригрупповым разбросом, называемой средним квадратом ошибки или MS ошибки.

Если верна нулевая гипотеза (равенство средних в двух популяциях или сортах), то можно ожидать сравнительно небольшое различие выборочных средних из-за чисто случайной изменчивости. Поэтому при нулевой гипотезе внутригрупповая дисперсия будет практически совпадать с общей дисперсией, подсчитанной без учета групповой принадлежности. Вычисленные внутригрупповые дисперсии можно сравнить с помощью F -критерия, проверяющего, действительно ли отношение дисперсий значимо больше 1.

Целью дисперсионного анализа является проверка статистической значимости различия между средними (для сортов или агроприемов). Эта проверка проводится с помощью разложения суммы квадратов на компоненты, то есть с помощью разложения общей дисперсии (вариации) на части, одна из которых обусловлена случайной ошибкой, а вторая связана с различием средних значений по вариантам опыта. Последняя компонента дисперсии затем используется для анализа статистической значимости различия между средними значениями. Если это различие значимо, нулевая гипотеза отвергается и принимается альтернативная гипотеза о существовании различия между средними.

Переменные значения, которые определяются с помощью измерений в ходе эксперимента (например, высота растений, количество зерен в колосе), называются зависимыми переменными.

12.4.7.1 Типы полевых многофакторных опытов

1. **Однофакторные:** а) испытание сортов (количество сортов – 5, повторностей – 4; б) испытание предшественников (озимая пшеница, горох, кукуруза на силос); повторность опыта (3–4-х кратная); в) испытание способов обработки почвы (отвальная на глубину 20–22 см; плоскорезная на глубину 20–22 см; поверхностная на глубину 8–10 см; повторность опыта – 3–4-х кратная); г) испытание системы удобрений [без удобрений (контроль); N₂₀P₅₀K₅₀, N₄₀P₁₀₀K₁₀₀, N₈₀P₂₀₀K₂₀₀; повторность опыта (3–4-х кратная)].

2. **Двухфакторные:**

фактор А – нормы минеральных или органических удобрений (вариантов не менее трех, повторностей 3–4);

фактор В – сорта (5–10 вариантов, сортов, повторностей не менее трех).

Вариаций двухфакторных опытов может быть большое количество.

3. **Трехфакторные:**

фактор А – нормы минеральных удобрений (не менее трех);

фактор В – нормы высева семян (три варианта);

фактор С – сорта (5 сортов, повторность не менее трех).

Трехфакторный опыт может иметь следующую схему: фактор А – предшественник; фактор В – способ обработки почвы; фактор С – нормы минеральных удобрений. В каждом факторе должно быть не менее трех вариантов и не менее трех повторностей.

12.4.7.2. Дисперсионный анализ данных однофакторного опыта

Однофакторные опыты – это наиболее простые опыты с набором одних факторов: нормы удобрений, группа сортов, способы обработки почвы.

Разберем однофакторный опыт по испытанию удобрений. В опыте изучается сорт риса Лиман при различных условиях минерального питания. Для обработки результатов исследований по любому признаку (высота растений, число продуктивных стеблей, длина метелки, число колосков в метелке, урожайность зерна и т.д.) составляется матрица опыта.

В опыте было 6 вариантов с различными нормами минеральных удобрений, повторность четырехкратная. После уборки всех повторений результаты пересчитываются с учетом чистоты, влажности зерна и площади делянки в ц/га или т/га (табл. 233). Результаты обрабатывают на ПЭВМ по любым программам дисперсионного анализа. На экране монитора мы получим матрицу результатов однофакторного опыта (табл. 234).

Таблица 233 – Влияние различных норм минеральных удобрений на урожайность риса, ц/га

Вариант	Повторность			
	1	2	3	4
Без удобрений (контроль)	46,2	43,7	47,1	44,8
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀	50,3	51,6	52,4	51,2
N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	53,9	54,4	55,2	54,8
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₈₀	56,2	57,3	58,1	57,0
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₉₀	59,9	59,1	61,4	62,7
N ₁₈₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	55,3	54,8	56,4	55,7

Таблица 234 – Матрица статистических значений результатов однофакторного дисперсионного анализа (урожайность зерна)

Вид дисперсии	Дисперсия	Число степеней свободы	Средний квадрат	НСР		Критерий F	
				попарно	со средней	расчетный	табличный
Общая	574,58	23	24,98				
Повторений	9,98	3	3,33				
Вариантов	553,7	5	110,74	1,304	0,841	152,4	2,9
Ошибки	10,90	15	0,73				

На экране монитора находим:

- среднее по вариантам: 45,45; 51,375; 54,575; 57,15; 60,775; 55,55;
- общая средняя по опыту: $M = 54,14583$;
- ошибка средней: $m = 0,4261932$;
- ошибка опыта: 0,75 %.

Составляем итоговую таблицу результатов опыта по урожайности зерна риса сорта Лиман с учетом однофакторного дисперсионного анализа.

В таблице 235 мы получили средние значения урожайности сорта Лиман по каждому варианту и величину НСР на 5% уровне значимости 1,30. Для определения достоверности различия сравниваем значения у контроля (45,45 ц/га) с вариантом $N_{50}P_{40}K_{40}$ (51,37 ц/га). Для этого к значению по урожайности у контроля (45,45) прибавляем НСР (1,30), получим сумму: $45,45 + 1,30 = 46,75$. Это значение сравниваем с показателем на варианте (51,37). Если у опытного варианта $N_{50}P_{40}K_{40}$ урожайность выше, чем значение контроля плюс НСР = 46,75, то между этими вариантами опыта по урожайности зерна результаты имеют статистическую достоверность. Или наоборот, от значений варианта $N_{50}P_{40}K_{40}$ (51,37 ц/га) отнимаем значение НСР (1,30), имеем: $51,37 - 1,30 = 50,07$ ц/га. Сравниваем с контролем. Если значение опытного варианта минус НСР (50,07) больше контроля, то результаты статистически достоверны. Разность между опытным вариантом (51,37) и контролем (45,45) имеем: $51,37 - 45,45 = 5,92$. Это больше, чем НСР = 1,30, значит, между вариантами по урожайности зерна имеются достоверные различия.

Необходимо определить долю влияния (вклада) каждого типа варьирования в формировании урожайности (см. табл. 234). Для этого из общей дисперсии, полученной при однофакторном дисперсионном анализе 574,58, вычитаем ошибки 10,90. Ошибки вычитаем также из каждого значения вида дисперсии: общей дисперсии, дисперсии повторений и дисперсии вариантов.

Таблица 235 – Урожайность риса в зависимости от различных норм удобрений, ц/га

Вариант	Повторность				Среднее	Отклонение от стандарта ±
	1	2	3	4		
Без удобрений (контроль)	46,2	43,7	47,1	44,8	45,45	-
$N_{50}P_{40}K_{40}$	50,3	51,6	52,4	51,2	51,37	+5,92
$N_{80}P_{60}K_{60}$	53,9	54,4	55,2	54,8	54,57	+9,12
$N_{120}P_{80}K_{80}$	56,2	57,3	58,1	57,0	57,15	+11,67
$N_{150}P_{90}K_{90}$	59,9	59,1	61,4	62,7	60,77	+15,32
$N_{180}P_{100}K_{100}$	55,3	54,8	56,4	55,7	55,55	+10,10
НСР ₀₅					1,30	1,30

1. Общая дисперсия: $574,58 - 10,90 = 563,68$;
2. Дисперсия повторений: $9,98 - 10,90 = -0,92$;
2. Дисперсия вариантов: $553,7 - 10,90 = 542,8$.

Определяем сумму всех значений $[563,68 + (-0,92) + 542,8]$, она будет равна 1105,56. После этого определяем долю влияния (вклада) всех значений видов дисперсии в формировании урожайности риса сорта Лиман по соотношению:

1. Доля вклада общего варьирования в урожайность зерна:

$$\begin{array}{l} 1105,56 \text{ — } 100 \% \\ 563,68 \text{ — } x \% \end{array} \quad x = 563,68 \cdot 100 / 1105,56 = 51,0 \%$$

2. Доля вклада повторений:

$$\begin{array}{l} 1105,56 \text{ — } 100\% \\ -0,92 \text{ — } x \% \end{array} \quad x = (-0,92) \cdot 100 / 1105,56 = -0,1 \%$$

3. Доля вклада вариантов удобрений в урожайность зерна:

$$\begin{array}{l} 1105,56 \text{ — } 100\% \\ 542,8 \text{ — } x \% \end{array} \quad x = 542,8 \cdot 100 / 1105,56 = 49,1 \%$$

Сумма долей вкладов всех видов дисперсии должна быть равна 100% $[51,0 + (-0,1) + 49,1] = 100\%$.

В нашем опыте доля вклада (влияния) общего варьирования (все экологические условия + генотип сорта Лиман + варианты опыта) в формирование урожайности составляет 51,0 %.

Доля вклада повторений в формирование урожая мала и отрицательная (-0,1%). Это значит, что повторения в опыте не оказывают существенного влияния на формирование урожайности зерна риса сорта Лиман.

Доля вклада (влияния) вариантов опыта с минеральными удобрениями в формирование урожайности составляет 49,1 %. Таким образом, в нашем опыте урожайность зерна сорта Лиман формируется за счет общего варьирования и вариантов с минеральными удобрениями.

12.4.7.3. Дисперсионный анализ данных двухфакторного опыта

При двухфакторном дисперсионном анализе в опыте должны быть: по фактору А (нормы удобрений, способы обработки почвы, предшественники). Важно, чтобы в факторе А было не менее трех градаций (вариантов) опыта, при двух вариантах опыта по фактору А результаты могут быть не корректны; по фактору В (сорта, нормы удобрений), также должно быть не менее трех вариантов, в 3, 4, 5-ти повторностях.

Составляем матрицу урожайности сортов риса в двухфакторном опыте (табл. 236). Результаты урожайности могут быть представлены в виде десятичных дробей (58,7; 65,4; 66,2 и т. д.). Результаты урожайности вводим в любой файл ПЭВМ, проверяем ошибки после введения.

По программе двухфакторного дисперсионного анализа на экране монитора получаем матрицу статистических результатов урожайности, которая включает: вид дисперсии, величину дисперсии, число степеней свободы, средний квадрат, наименьшую существенную разность ($НСР_{05}$) попарно и в сравнении со средней, а также критерий F (Фишера). По каждому варианту с нормами удобрений сорта попарно сравниваются со стандартом. По фактору А сравниваются усредненные значения всех сортов на варианте без удобрений с аналогичными с удобрениями (табл. 237).

Таблица 236 – Матрица урожайности сортов риса в двухфакторном опыте, ц/га

Норма удобрений (фактор А)	Сорт (фактор В)	Повторность			
		1	2	3	4
Без удобрений (контроль)	Лиман (st)	58	56	53	57
	Жемчужный	52	54	57	53
	Регул	61	60	59	58
	Рапан	62	61	65	64
	Курчанка	61	63	62	60
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀	Лиман (st)	61	63	60	59
	Жемчужный	54	57	56	57
	Регул	63	62	64	60
	Рапан	64	63	66	67
	Курчанка	62	65	64	61
N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	Лиман (st)	63	64	66	64
	Жемчужный	57	59	58	61
	Регул	65	66	64	63
	Рапан	66	67	68	69
	Курчанка	65	63	66	64

Таблица 237 – Матрица статистических значений результата двухфакторного дисперсионного анализа урожайности риса

Вид дисперсии	Дисперсия	Число степеней свободы	Средний квадрат	НСП		Критерий F	
				попарно	со средней	фактическое	табличное
Общая	950,11	5	16,10				
Повторений	9,97	3	2,66				
Вариантов	830,11	14	59,29	2,36	1,62	22,2	1,9
Фактора А	260,31	2	130,16	1,06	0,61	48,8	3,2
Фактора В	538,61	4	134,65	1,37	0,86	50,5	2,6
Взаимодействия АВ	31,19	8	3,90	2,36	1,62	1,5	2,1
Ошибки	112,03	42	2,67				

С учетом величины дисперсии можно определить долю влияния каждого фактора и его составляющих на проявление исследуемого признака (урожайности зерна сортов риса). Для этого из каждого значения вида дисперсии вычитаем ошибки (112,03):

- общая: $950,11 - 112,03 = 838,08$;
- повторений: $9,97 - 112,03 = -102,06$;
- вариантов: $830,11 - 112,03 = 718,08$;
- фактора А: $260,31 - 112,03 = 148,28$;
- фактора В: $538,61 - 112,03 = 426,58$;
- взаимодействия АВ: $31,19 - 112,03 = -80,84$.

Получаем сумму этих значений: $[838,08 + (-102,06) + 718,08 + 148,28 + 426,58 + (-80,84)] = 1948,12$.

Определяем долю влияния (вклада) каждого вида изменчивости (дисперсии) на формирование урожайности во всей генеральной совокупности варьирования по соотношениям. За 100 % влияния берется общая сумма значений варьирования за вычетом ошибок (1948,12).

1. Доля вклада общего варьирования при формировании урожайности:

$$\begin{array}{l} 1948,12 — 100 \\ 838,08 — x \end{array} \quad x = 838,08 \cdot 100 / 1948,12 = 43,01 \ %;$$

2. Доля вклада повторений:

$$\begin{array}{l} 1948,12 — 100 \\ -102,06 — x \end{array} \quad x = -102,06 \cdot 100 / 1948,12 = -5,23 \ %;$$

3. Доля вклада вариантов:

$$\begin{array}{l} 1948,12 — 100 \\ 718,08 — x \end{array} \quad x = 718,08 \cdot 100 / 1948,12 = 36,86 \ %;$$

4. Доля вклада фактора А:

$$\begin{array}{l} 1948,12 — 100 \\ 148,28 — x \end{array} \quad x = 148,28 \cdot 100 / 1948,12 = 7,61 \ %;$$

5. Доля вклада фактора В:

$$\begin{array}{l} 1948,12 — 100 \\ 426,58 — x \end{array} \quad x = 426,58 \cdot 100 / 1948,12 = 21,89 \ %;$$

6. Доля вклада взаимодействия АВ:

$$\begin{array}{l} 1948,12 — 100 \\ -80,84 — x \end{array} \quad x = -80,84 \cdot 100 / 1948,12 = -4,14 \ %.$$

Сумма всех значений долей влияния (вклада) каждого вида варьирования всегда должна быть равна 100 %.

Далее исследователь дает объяснение доли влияния каждого вида варьирования на формирование урожайности риса разных сортов в зависимости от норм минеральных удобрений. Доминирующая роль в формировании урожайности сортов риса принадлежит общей дисперсии (43,01 %), каждому варианту (36,86 %) и генотипам сортов (21,89 %).

Обработка результатов урожайности зерна сортов риса методом двухфакторного дисперсионного анализа показывает, что в графе "среднее по вариантам" – это усредненные данные по каждому варианту опыта из четырех повторений. Среднее по фактору А получено в результате суммирования средних значений по вариантам, входящие в вариант опыта по фактору А (без удобрений: $56+54+59,5+63+61,5 = 294$. В опыте 5 сортов, сумму 294 делим на 5, равно 58,8. Аналогично получаем значения урожайности по каждому варианту фактора А. Эти вычисления делает ПЭВМ (табл. 238).

По фактору В (сорта) мы получаем средние данные по каждому сорту, выращенному на разных нормах удобрений. Здесь нужно суммировать значения каждого сорта в отдельности по всем вариантам. Например, по сорту Лиман: $56,0+60,8+64,3 = 181,1$. Эту сумму 181,1 делим на количество вариантов с удобрениями (3 варианта). Получим $181,1:3 = 60,3$. Это средняя урожайность сорта Лиман по фактору В, выращенного на разных фонах удобрений. Аналогично определяются значения урожайности каждого сорта. Эффекты взаимо-

Таблица 238 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа урожайности риса в зависимости от сортов и норм минеральных удобрений, ц/га

Градации фактора		Среднее по:			Эффект взаимодействия АВ
норма удобрений (фактор А)	сорт (фактор В)	вариантам	фактору А	фактору В	
Без удобрений (контроль)	Лиман (st)	56,0	58,8		-1,7
	Жемчужный	54,0			0,3
	Регул	59,5			-0,1
	Рапан	63,0			0,4
	Курчанка	61,5			1,1
N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀	Лиман (st)	60,8	61,4		0,4
	Жемчужный	56,0			-0,3
	Регул	62,3			0,1
	Рапан	65,0			-0,2
	Курчанка	63,0			-0,1
N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	Лиман (st)	64,3	63,9	60,3	1,4
	Жемчужный	58,5		56,3	-0,1
	Регул	64,5		62,1	-0,1
	Рапан	67,5		65,2	-0,2
	Курчанка	64,5		63,0	-1,1
HCP ₀₅	вариантов фактора А фактора В взаимодействия АВ	2,36	1,06	1,37	2,36

действия факторов АВ будут статистически достоверны в том случае, если их значения превысят HCP₀₅ – взаимодействия АВ. В нашем примере эффекты взаимодействия очень малы, во многих случаях имеют отрицательные значения и статистически не достоверны. Для этих сортов, вероятно, нужны другие нормы минеральных удобрений.

12.4.7.4. Дисперсионный анализ данных трехфакторного опыта

Многие научные работники сельского хозяйства часто изучают те или иные биологические закономерности в системе трехфакторных опытов. Трехфакторные полевые опыты – это сложные эксперименты, как по их постановке, сбору результатов исследований, так и обработке экспериментальных данных, и еще сложнее сделать интерпретацию полученных результатов, особенно по взаимодействию факторов, влияющих на результаты эксперимента.

Например, в трехфакторном полевом опыте предполагается изучить:

- по фактору А – нормы высева семян (3,0; 5,0; 7,0 млн. зерен на 1 га);
- по фактору В – нормы минеральных удобрений (без удобрений; N₅₀P₄₀K₄₀; N₈₀P₆₀K₆₀);
- по фактору С – испытание сортов риса (Лиман, Жемчужный, Регул, Рапан и Курчанка).

Опыт заложен в 4-х кратной повторности. Таким образом, опыт был заложен по схеме: 3×3×5×4 (3 – нормы высева семян; 3 – нормы минеральных удобрений; 5 – сорта риса; 4 – повторения). Поэтому урожайность риса нужно изучить в трехфакторном полевом опыте, где следует обработать данные эксперимента на 180 делянках (табл. 239). Это сложный и трудоемкий эксперимент. Его следу-

ет обработать без допущения каких-либо, даже незначительных, ошибок. От того, как правильно мы выберем программу, без ошибок введем файлы результатов эксперимента, такие мы и получим результаты исследований (табл. 240).

Таблица 239 – Матрица урожайности риса в трехфакторном полевом опыте, ц/га

Норма высева семян, млн. зерен (фактор А)	Норма минеральных удобрений (фактор В)	Сорт (фактор С)	Повторность			
			1	2	3	4
3,0	Без удобрений (контроль)	Лиман	58	56	53	57
		Жемчужный	52	54	57	53
		Регул	61	60	59	58
		Рапан	62	61	65	64
		Курчанка	61	63	62	60
	N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀	Лиман	61	63	60	59
		Жемчужный	54	57	56	57
		Регул	63	62	64	60
		Рапан	64	63	66	67
		Курчанка	62	65	64	61
	N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	Лиман	63	64	66	64
		Жемчужный	57	59	58	61
		Регул	65	66	64	63
		Рапан	66	67	68	69
		Курчанка	65	63	66	64
5,0	Без удобрений (контроль)	Лиман	59	57	55	56
		Жемчужный	54	56	58	56
		Регул	63	62	60	61
		Рапан	64	63	66	65
		Курчанка	63	65	64	63
	N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀	Лиман	62	65	63	61
		Жемчужный	55	58	57	60
		Регул	65	63	65	61
		Рапан	66	65	67	68
		Курчанка	64	67	67	63
	N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	Лиман	65	65	67	68
		Жемчужный	59	61	60	63
		Регул	66	68	65	67
		Рапан	68	69	70	71
		Курчанка	66	65	67	66
7,0	Без удобрений (контроль)	Лиман	60	59	58	59
		Жемчужный	56	58	60	59
		Регул	65	64	63	63
		Рапан	66	65	68	66
		Курчанка	65	66	67	65
	N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀	Лиман	64	66	66	65
		Жемчужный	58	59	59	61
		Регул	66	65	67	64
		Рапан	68	67	69	69
		Курчанка	65	68	69	65
	N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	Лиман	67	68	69	71
		Жемчужный	63	64	63	65
		Регул	68	69	67	68
		Рапан	70	71	73	73
		Курчанка	68	66	68	69

Таблица 240 – Матрица результатов трехфакторного дисперсионного анализа урожайности риса

Вид дисперсии	Дисперсия	Число степеней свободы	Средний квадрат	НСП		Критерий F	
				попарно	со средней	расчетный	табличный
Общая	3290,44	179	18,38				
Повторений	21,13	3	7,04				
Вариантов	2988,94	44	67,93	2,07	1,45	32,0	1,4
Фактора А	441,81	2	220,91	0,54	0,31	104,0	3,1
Фактора В	832,47	2	416,23	0,54	0,31	196,	3,1
Фактора С	1539,02	4	384,75	0,69	0,44	181,0	2,4
Взаимодействие АВ	1,53	4	0,38	0,93	0,62	0,2	2,4
АС	2,45	8	0,31	1.20	0,82	0,1	2,0
ВС	161,84	8	20,23	1.20	0,82	9,5	2,0
АВС	9,81	16	0,61	2,07	1.45	0,3	1,7
Ошибки	280,38	132	2.12				

С помощью значений дисперсии по каждому ее виду необходимо определить долю влияния (вклада) на формирование урожайности. Для этого из каждого значения вида дисперсии необходимо вычесть ошибки (280,38):

- общая дисперсия: $3290,4 - 280,38 = 3010,06$;
- дисперсия повторений: $21,13 - 280,38 = -259,25$;
- дисперсия вариантов: $2988,9 - 280,38 = 2708,56$;
- дисперсия фактора А: $441,81 - 280,38 = 161,43$;
- дисперсия фактора В: $832,47 - 280,38 = 552,09$;
- дисперсия фактора С: $1539,02 - 280,38 = 1258,64$;
- дисперсия взаимодействия АВ: $1,53 - 280,38 = -278,85$;
- дисперсия взаимодействия АС: $2,45 - 280,38 = -277,93$;
- дисперсия взаимодействия ВС: $161,84 - 280,38 = -118,54$;
- дисперсия взаимодействия АВС: $9,81 - 280,38 = -270,57$.

Следующим арифметическим действием необходимо суммировать все значения видов дисперсии за минусом ошибок, получим сумму 6485,58.

После этого следует определить долю влияния (вклада) каждого вида варьирования при формировании урожайности во всей генеральной совокупности изменчивости по соотношениям, аналогично вычислениям при двухфакторном дисперсионном анализе.

За 100 % влияния берется общая сумма значений варьирования за вычетом ошибок, она равна 6485,58.

1. Доля вклада общего варьирования в урожайность риса:

$$\begin{array}{l} 6485,58 — 100 \\ 3010,06 — x \end{array} \quad x = -3010,06 \cdot 100 / 6485,58 = 46,41 \%$$

2. Доля вклада повторений:

$$\begin{array}{l} 6485,58 — 100 \\ -259,25 — x \end{array} \quad x = -259,25 \cdot 100 / 6485,58 = -3,99 \%$$

3. Доля вкладов вариантов:

- 6485,58 — 100
2708,56 — x $x = 2708,56 \cdot 100 / 6485,58 = 41,76 \%$;
4. Доля вклада фактора А:
6485,58 — 100
161,43 — x $x = 161,58 \cdot 100 / 6485,58 = 2,48 \%$;
5. Доля вклада фактора В:
6485,58 — 100
552,09 — x $x = 552,09 \cdot 100 / 6485,58 = 8,51 \%$;
6. Доля вклада фактора С:
6485,58 — 100
1258,64 — x $x = 1258,64 \cdot 100 / 6485,58 = 19,40 \%$;
7. Доля вклада взаимодействия АВ:
6485,58 — 100
-278,85 — x $x = -278,85 \cdot 100 / 6485,58 = -4,29 \%$;
8. Доля вклада взаимодействия АС:
6485,58 — 100
-277,93 — x $x = -277,93 \cdot 100 / 6485,58 = -4,28 \%$;
9. Доля вклада взаимодействия ВС:
6485,58 — 100
-118,54 — x $x = -118,54 \cdot 100 / 6485,58 = -1,83 \%$;
10. Доля вклада взаимодействия АВС:
6485,58 — 100
-270,57 — x $x = -270,57 \cdot 100 / 6485,58 = -4,17 \%$.

В итоге сумма вкладов всех видов варьирования в формирование урожайности зерна риса должна составлять 100 %. Далее проводится анализ по каждому виду варьирования и формулируются соответствующие выводы, даются рекомендации.

В данном опыте доминирующий вклад в формирование урожайности сортов риса вносят: общее варьирование (46,41 %), варианты (41,76 %) и фактор С (генотипы сортов, 19,40 %). Остальные виды дисперсии либо малы, либо имеют отрицательное влияние на формирование урожайности риса.

Далее составляется итоговая матрица результатов трехфакторного дисперсионного анализа урожайности риса, в которой приводится полная схема опыта по трем градациям: фактору А, фактору В и фактору С (табл. 241). Приводятся средние результаты урожайности по каждому варианту, вычисленные из четырех повторений. Средние значения урожайности по каждому фактору и взаимодействию АВ, АС, ВС и АВС, а также приводятся эффекты взаимодействия: АВ, АС, ВС и АВС. Внизу матрицы следует показать значения НСР₀₅ по каждой градации факторов и взаимодействия. По значениям НСР₀₅ каждого вида градации делается анализ эффективности проведенного эксперимента и отмечаются лучшие варианты опыта. В данном эксперименте эффекты взаимодействия не достоверны. Они либо малы, либо имеют отрицательные значения.

После составления таблицы результатов трехфакторного дисперсионного анализа статистических данных урожайности сортов риса, полученных под влиянием: норм высева семян и различных норм минеральных удобрений анализируются данные всех вариантов с НСР₀₅ по вариантам. Находим, какой сорт, и на каком варианте показал наибольшую урожайность.

Таблица 241 – Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по урожайности риса, ц/га (среднее по опыту 63,23)

Градации фактора			Среднее по:							
A*)	B	C	A	B	C	AB	AC	BC	вариантам	
A ₁	B ₁	1								
		2					56,3	56,1	54,0	
		3					62,1	61,6	59,5	
		4					65,2	64,6	63,0	
		5					63,0	63,7	61,5	
	B ₂	1	61,4	63,2		61,4			62,9	60,8
		2							57,6	56,0
		3							63,8	62,3
		4							66,6	65,0
		5							65,0	63,0
	B ₃	1		65,9		63,9			66,4	64,3
		2							61,1	58,5
		3							66,3	64,5
		4							69,6	67,5
		5							66,1	64,5
A ₂	B ₁	1				60,5	61,9		56,8	
		2					58,1		56,0	
		3					63,8		61,5	
		4					66,8		64,5	
		5					65,0		63,8	
	B ₂	1	63,1			63,1				62,8
		2								57,5
		3								63,5
		4								66,5
		5								65,3
	B ₃	1				65,8				66,3
		2								60,8
		3								66,5
		4								69,5
		5								66,0
A ₃	B ₁	1				62,6	64,3		59,0	
		2					60,4		58,3	
		3					65,8		63,8	
		4					68,8		66,3	
		5					66,8		65,8	
	B ₂	1	65,2			65,0				65,3
		2								59,3
		3								65,5
		4								68,3
		5								66,8
	B ₃	1				62,2	68,0			68,8
		2				58,3				63,8
		3				63,9				68,0
		4				66,9				71,8
		5				64,9				67,8
HCP ₀₅			0,54	0,54	0,69	0,93	1,20	1,20	2,07	

*) Наименование градаций факторов см. табл. 239

Таблица 242 – Эффекты взаимодействия между факторами, определяющими урожайность риса

Градации фактора			Эффект взаимодействия			
A*)	B	C	AB	AC	BC	ABC
A1	B1	1	0,03	0,01	-2,34	0,58
		2		-0,13	0,43	-0,12
		3		0,06	0,29	-0,31
		4		0,12	0,27	0,13
		5		-0,05	1,35	-0,28
	B2	1	0,10	0,79	-0,41	
		2		-0,60	0,32	
		3		-0,-7	0,21	
		4		-0,27	0,07	
		5		0,15	0,18	
	B3	1	-0,13	1,56	-0,17	
		2		0,17	-0,20	
		3		-0,22	0,11	
		4		-0,01	-0,20	
		5		-0,50	0,47	
A2	B1	1	-0,03	-0,18	-0,19	
		2		-0,07	0,12	
		3		0,04	0,01	
		4		0,02	0,03	
		5		0,18	0,03	
	B2	1	0,03	0,08		
		2		0,05		
		3		-0,23		
		4		-0,-3		
		5		0,13		
	B3	1	-0,01	0,11		
		2		-0,17		
		3		0,22		
		4		0,01		
		5		-0,17		
A3	B1	1	0,01	0,17	-0,39	
		2		0,20	0,01	
		3		-0,11	0,31	
		4		-0,13	-0,17	
		5		-0,13	0,25	
	B2	1	-0,13	0,33		
		2		-0,37		
		3		0,02		
		4		-0,03		
		5		0,05		
	B3	1	0,13	0,06		
		2		0,37		
		3		-0,33		
		4		0,20		
		5		-0,30		
НСР05			0,93	1,20	1,20	2,07

*) Наименование градаций факторов см. табл. 239

Эти результаты обязательно нужно сравнивать с контролем (нормы удобрения) и со стандартом. Затем поочередно анализируются результаты по каждому фактору и взаимодействию с $НСР_{05}$ (факторов и взаимодействия). После приступают к анализу эффектов взаимодействия (табл. 242). Если значение эффекта взаимодействия выше достоверности аналогичного взаимодействия, тогда оно статистически достоверно. В данном примере эффект взаимодействия ВС у сорта Лиман на фоне удобрений $N_{80}P_{60}K_{60}$ при норме высева 3,0 млн. зерен на 1 га равен 1,56. Это значит, что у этого сорта риса установлено достоверное взаимодействие с нормой удобрений.

Трехфакторный опыт имеет очень сложные градации, но после правильного их анализа можно объяснить долю влияния каждого фактора при формировании урожайности риса изучаемых сортов.

12.4.8. Корреляция и регрессия

Корреляция представляет собой меру зависимости переменных величин. Наиболее известна корреляция Пирсона. При вычислении корреляции Пирсона предполагается, что переменные измерены, как минимум, в интервальной шкале. Некоторые другие коэффициенты корреляции могут быть вычислены для менее информативных шкал. Коэффициенты корреляции изменяются в пределах от $-1,00$ до $+1,00$. Значение $-1,00$ означает, что переменные величины имеют строгую отрицательную корреляцию. Значение $+1,00$ означает, что переменные имеют строгую положительную корреляцию. Отметим, что значение $0,00$ означает отсутствие корреляции или она очень мала.

Положительное значение коэффициента корреляции показывает на связь между двумя переменными величинами признаков. С увеличением значений одного признака возрастает величина второго коррелируемого признака. Отрицательное значение коэффициента корреляции может показать на противоположную связь между признаками. Возрастание значений одного признака ведет к уменьшению другого. Это и показывает отрицательный коэффициент корреляции. Про такие переменные признаков говорят, что они отрицательно коррелятивны.

Наиболее часто используемый коэффициент корреляции Пирсона r называется также линейной корреляцией, так как измеряет степень линейных связей между переменными. Корреляция Пирсона (далее называемая просто корреляцией) предполагает, что две рассматриваемые переменные измерены, по крайней мере, в интервальной шкале. Она определяет степень, с которой значения двух переменных "пропорциональны" друг другу. Важно, что значение коэффициента корреляции не зависит от масштаба измерения. Например, корреляция между высотой растений и длиной метелки будет одной и той же независимо от того, проводились измерения в дюймах и футах или в сантиметрах. Пропорциональность означает просто линейную зависимость.

Коэффициент корреляции не зависит от того, какой признак был взят за функциональное значение y или x . От реципрокных направлений признаков будет зависеть только уравнение прямолинейной регрессии. Корреляция между высотой растений риса сорта Краснодарский 424 и длиной метелки составляет $r = -0,36$; уравнение регрессии $y = 28,029 + (-0,137377) \cdot 1,2$. При реципрокном эффекте, когда корреляция была определена между длиной метелки сорта Краснодарский 424 и высотой растений ($r = -0,36$), уравнение регрессии $y = 110,9 + 0,987179 \cdot 3,2357$. Значения уравнения регрессии мы имеем на экране монитора ПЭВМ.

В биометрической литературе принято считать, что при $r < 0,3$ корреляция между изучаемыми признаками слабая. Если $r = 0,3-0,69$ – средняя; при $r \geq 0,7$ корреляция между признаками сильная.

Коэффициент корреляции Пирсона (r) представляет собой меру линейной зависимости двух переменных. Если возвести его в квадрат, то полученное значение коэффициента детерминации (r^2) представляет долю вариации, общую для двух переменных (иными словами, "степень" зависимости или сопряженности, связанности двух переменных). Чтобы оценить зависимость между переменными, нужно знать как "величину" корреляции, так и ее значимость.

Уровень значимости, вычисленный для каждой корреляции, представляет собой главный источник информации о надежности корреляции. Значимость определенного коэффициента корреляции зависит от объема выборок. Критерий значимости основывается на предположении, что распределение остатков (т.е. отклонений наблюдений от регрессионной прямой) для зависимой переменной y является нормальным (с постоянной дисперсией для всех значений независимой переменной x).

Для определения степени приближения криволинейной зависимости к прямолинейной используется критерий F , вычисляемый по формуле:

$$F = \frac{(\eta^2 - r^2)(n - k_x)}{(1 - \eta^2)(k_x - 2)},$$

где: η^2 – квадрат корреляционного отношения y по x ;
 r^2 – квадрат коэффициента линейной корреляции;
 n – объем выборки;
 k_x – число групп по ряду x ;
 $F_{\text{факт.}}$ – 1,62;
 $F_{\text{табл. (теор.)}}$ = 3,18.

Связь можно принять за линейную, если $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$, и определять значения для прямолинейной корреляции. Корреляция нелинейная, если $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$. Теоретические значения F берут из таблицы "Значения критериев F на 5 % уровне значимости (вероятность 95%). В данном опыте связь линейная.

12.4.8.1. Прямолинейная корреляция

Для определения коэффициентов прямолинейной корреляции проводят биометрический анализ растений по признакам, после чего строят таблицы (матрицы) вариационных рядов значений признаков.

Для определения корреляционной связи могут быть использованы и другие признаки: высота растений по фазам развития, длина, ширина листа (листьев), площадь листьев, индекс листовой поверхности, фотосинтетический потенциал, накопление зеленой (сухой) массы растений по фазам развития, другие количественные признаки растений, как биометрические, так и биохимические. Можно определять коэффициенты корреляции между следующими характеристиками: температурный режим, количество осадков, период вегетации, содержание элементов питания в почве, количество продуктивных стеблей, сорняков, больных растений, число примесей в сортовых посевах; нормы высева семян, нормы внесения минеральных или органических удобрений, нормы применения ядохимикатов, глубина заделки семян, густота посевов; с характеристиками обработки почвы, физического, химического и водного состояния почвы. Все это можно измерить, взвесить, высчитать, используя при вычислении коэффициентов корреляции (табл. 243).

Таблица 243 – Вариационные ряды по некоторым признакам риса

№ растения	Высота растений, см	Количество продуктивных стеблей на растении, шт.	Длина главной метелки, см	Масса главной метелки (зерно+веточки), г	Количество колосков на главной метелке, шт.	Количество зерен в главной метелке, шт.	Масса зерна с главной метелки, г	Пустозерность (стерильность) главной метелки, %	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	69	2	13,5	2,68	109	92	2,54	15,59	4,42	27,60
2	67	3	12,8	2,26	108	74	1,97	31,48	5,36	26,62
3	79	4	15,3	3,75	151	133	3,58	11,92	10,65	26,91
4	67	2	14,3	2,88	110	98	2,71	10,90	3,53	27,65
5	67	2	15,1	2,93	113	102	2,77	9,73	4,29	27,15
6	75	3	14,2	3,22	123	107	3,02	13,00	6,92	28,22
7	76	3	14,7	3,28	130	117	3,09	10,00	8,18	26,41
8	66	2	13,0	2,12	90	78	2,00	13,33	3,28	25,64
9	78	3	15,7	3,90	153	135	3,69	1,76	9,40	27,33
10	65	3	14,4	2,75	128	93	2,49	27,34	5,41	26,77

Обязательное условие: вариационные ряды признаков, выборка измерений должны иметь одинаковое количество. Если в матрице каких-то характеристик будет 10, то и число измерений в каждой функциональной величине должно быть поровну: везде по 10, или по 12, или по 20.

Для определения внутрисортных корреляционных связей достаточно одного сорта. Число растений (выборка) может быть разной от 5 до 200 растений. С увеличением объема выборки растений уменьшается ошибка коэффициента корреляции и возрастает его значимость (достоверность). Для вычисления межсортовой или генотипической корреляционной связи нужно иметь значения признаков нескольких сортов (табл. 244).

По программе Doc Statpak или по другой программе Statistica-6.0 в Windows определяем прямолинейную корреляцию. Для этого из таблиц 242 и 243 вводятся поочередно вариационные ряды признаков по порядку, начиная с растения №1 и заканчивая растением №10. Получаем матрицу корреляционного анализа признаков.

Аналогичные матрицы ПЭВМ выдает между всеми десятью признаками: 1–2; 2–3; 3–4; 4–5; 5–6; 6–7; 7–8; 8–9; 9–10.

В отчете, в научной статье можно использовать в тексте значения коэффициентов корреляции. Например, коэффициент корреляции между высотой растений и количеством колосков в метелке равен $r = 0,81 \pm 0,208$.

Статистическая модель линейной регрессии имеет вид: $y = a + b \cdot x$, где независимая переменная "x" является аргументом или факторным признаком, а зависимая переменная "y" – функцией или результативным признаком, коэффициенты регрессии "a" или "b" оценивают параметры линейной зависимости во всей генеральной совокупности. В случае корреляции двух признаков варьирование значений результативного "y" следует рассматривать не только следствием зависимости от "факторного" признака "x", но и результатом случайных отклонений.

Таблица 244 – Вариационные ряды по некоторым признакам риса

№ растения	Высота растений, см	Количество продуктивных стеблей на растении, шт.	Длина главной метелки, см	Масса главной метелки (зерно+вехточка), г	Количество колосков на главной метелке, шт.	Количество зерен в главной метелке, шт.	Масса зерна с главной метелки, г	Пустозерность (стерильность) главной метелки, %	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	73	3	15,7	3,52	126	110	3,31	12,69	8,93	30,09
2	75	4	17,0	4,37	163	145	4,15	11,04	13,77	28,62
3	67	2	14,5	3,27	139	117	3,0	15,82	4,09	25,64
4	77	4	16,1	3,32	136	103	2,93	24,26	9,38	28,44
5	71	3	16,0	3,68	127	11	3,39	12,59	9,18	30,54
6	61	2	14,7	2,34	104	80	2,17	23,07	3,80	27,12
7	70	3	14,5	2,86	163	98	2,51	38,65	6,23	25,61
8	72	4	15,0	2,97	146	103	2,062	29,45	8,43	26,11
9	69	3	15,7	3,02	120	102	2,90	15,00	6,18	28,43
10	77	4	15,8	3,11	107	95	2,93	11,21	9,28	30,84

Для определения величины любого коррелирующего признака по отношению к другому на корреляционном поле строят теоретическую линию регрессии. Для построения прямой линии на графике необходимо иметь две точки. Это положение верно для любых двух пар наблюдений независимо от того, связаны признаки между собой или нет.

Для построения линии регрессии нужно использовать уравнения регрессии $y = -3,33 + 0,08 \cdot 73$. Для определения значимости (достоверности) коэффициента корреляции нужно использовать значения достоверности коэффициента корреляции.

Аналогично определяются коэффициенты корреляции и для других сортов.

Самой распространенной, обладающей полной информативностью, является матрица только прямых значений коэффициентов корреляции (табл. 245, 246).

Таблица 245 – Матрица коэффициентов прямолинейной корреляции между количественными признаками риса

Признаки	Коррелирующие признаки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2*)	0,68									
3	0,61	0,40								
4	0,88	0,59	0,90							
5	0,81	0,78	0,83	0,93						
6	0,88	0,57	0,90	0,99	0,91					
7	0,88	0,54	0,90	0,99	0,90	0,99				
8	-0,47	0,19	-0,52	-0,51	-0,18	-0,57	-0,58			
9	0,92	0,88	0,65	0,86	0,92	0,86	0,83	-0,19		
10	0,24	-0,01	0,32	0,42	0,27	0,31	0,41	-0,20	0,10	1,00

*) Признаки: см. таблица 244.

Таблица 246 – Матрица коэффициентов прямолинейной корреляции между количественными признаками риса

Признаки	Коррелирующие признаки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 ^{*)}	0,88									
3	0,67	0,64								
4	0,60	0,43	0,79							
5	0,23	0,41	-0,06	0,24						
6	0,41	0,30	0,61	0,93	0,42					
7	0,55	0,40	0,81	0,81	0,16	0,92				
8	-0,22	-0,03	-0,61	-0,61	0,51	-0,43	-0,65			
9	0,81	0,81	0,88	0,82	0,30	0,67	0,81	-0,36		
10	0,51	0,35	0,71	0,43	-0,54	0,11	0,48	-0,72	0,54	1,00

*) Признаки: см. таблица 244.

Для определения достоверности используют их значения, полученные при решении этой задачи и находящиеся в матрицах таблиц 247 и 248.

Мы вели речь о фенотипических прямолинейных корреляциях. Ю.Л. Гужов (1978) предложил использовать генотипические корреляции. Для построения матрицы количественных признаков можно использовать вариационные ряды 5–7–10 сортов. Можно взять средние значения признаков 30–40–50 сортов. Из средних значений признаков строятся вариационные ряды для вычисления генотипических прямолинейных корреляций. Все остальные правила уже были описаны ранее (табл. 247, 248).

Таблица 247 – Матрица результатов корреляционного анализа между признаками риса

Коррелируемые признаки	Коэффициент корреляции (r)	Ошибка коэффициента корреляции (m)	Достоверность коэффициента корреляции (T)	Значения регрессии			Вид уравнения регрессии
				a	b	c	
1–2 ^{*)}	0,68	0,257	2,7	-3,33	0,08	0,38	y = a+b·x
-3	0,61	0,279	2,2	6,58	0,11	0,64	
-4	0,88	0,170	5,2	-3,61	0,09	0,14	
-5	0,81	0,208	3,9	-86,37	2,93	7,28	
-6	0,88	0,165	5,4	-135,35	3,36	4,76	
-7	0,88	0,170	5,2	-3,85	0,09	0,14	
-8	-0,47	0,312	1,5	62,03	-0,65	6,26	
-9	0,92	0,135	6,9	-24,49	0,43	0,39	
-10	0,24	0,343	0,7	24,75	0,03	0,73	

*) Признаки: 1 – высота растений; 2 – количество продуктивных стеблей растений; 3 – длина главной метелки; 4 – масса главной метелки (зерно+веточки); 5 – количество колосков в главной метелке; 6 – количество зерен в главной метелке; 7 – масса зерна с главной метелки; 8 – пустозерность (стерильность) главной метелки; 9 – масса зерна с растения; 10 – масса 1000 зерен.

Таблица 248 – Матрица результатов корреляционного анализа между признаками риса

Коррелируемые признаки	Коэффициент корреляции (r)	Ошибка коэффициента корреляции (m)	Достоверность коэффициента корреляции (Т)	Значения регрессии			Вид уравнения регрессии
				a	b	c	
1–2 ^{x)}	0,88	0,165	5,4	–7,00	0,14	0,18	y = a+bx
–3	0,67	0,262	2,6	7,53	0,11	0,47	
–4	0,60	0,284	2,1	–1,49	0,07	0,37	
–5	0,23	0,344	0,7	43,83	1,32	28,71	
–6	0,41	0,322	1,3	3,67	1,44	14,85	
–7	0,55	0,295	1,9	–1,36	0,06	0,40	
–8	–0,22	0,345	0,6	49,24	–0,42	9,33	
–9	0,81	0,210	3,8	–26,81	0,49	1,10	
–10	0,51	0,305	1,7	13,51	0,21	0,51	

*) Признаки: см. таблица 244.

При обсуждении результатов научных исследований прямолинейной фенотипической корреляции часто используют коэффициент детерминации – это квадрат коэффициента корреляции. Например, у риса сорта Лиман между признаками высота растений и количество зерен с главной метелки коэффициент корреляции равен $r = 0,88$, это тесная взаимосвязь между признаками. Квадрат коэффициента корреляции равен $r^2 = 0,88^2 = 0,77$. Это значит, что в 77 % случаев количество зерен в метелке сорта риса Лиман детерминировано генотипом, а в 23 % случаев – другими условиями: густотой стеблестоя, облиственностью растения, плодородием почвы и т.д.

12.4.8.2. Множественная регрессия

Для определения прямолинейной фенотипической корреляции мы проводили последовательную связь между признаками (пример 10 признаков): 1–2; 1–3; 1–4; 1–5; 1–6; 1–7; 1–8; 1–9; 1–10; 2–3; 2–4; 2–5; 2–6; 2–7; 2–8; 2–9; 2–10; 3–4; 3–5; 3–6; 3–7; 3–8; 3–9; 3–10 и т. д.

При множественной регрессии обязательное присутствие функциональных значений: x – сколько угодно; y – только один признак. Например, для определения множественной регрессии у риса сорта Кубань 3 мы взяли по значению x : высота растений (x_1), длина главной метелки (x_2) и количество колосков с метелки (x_3). По значению y мы использовали только один признак – количество зерен с главной метелки (y). Размер выборки 10 растений. Построено четыре вариационных ряда по 10 растений. Получили результат регрессионного анализа (табл. 249, 250, 251):

1. Статистическую обработку значений признаков (3 признака), имеем – среднее значение признака, ошибку среднего, коэффициент варьирования, среднее квадратическое отклонение и ошибку опыта;

2. Коэффициенты парной корреляции между признаками;

3. Коэффициенты множественной корреляции;

4. Достоверность коэффициентов множественной корреляции;

5. Путевые коэффициенты;

6. Доли влияния – x_1y ; x_2y ; x_3y на развитие конкретного признака.

На основе статистических значений регрессионного анализа строится уравнение множественной регрессии, а также график, на котором можно найти лю-

бую точку в зависимости от фактических значений x и y . На основе таблиц 250 и 251 строим уравнение множественной регрессии: $y = a + b \cdot x + c \cdot x$; $y = 100,099 + (-2,803) \cdot 91,7 + 0,020 \cdot 91,7$. На теоретической линии регрессии можно отметить любую точку с учетом величин x и y и показать ее реальное значение.

Таблица 249 – Результаты статистической обработки признаков

Признак	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	V, %	σ	m, %	Коррелируемые признаки	Коэффициент корреляции	Ошибка коэф. корреляции	Достоверность
1. x_1	91,7	1,30	4,5	4,1	1,4	x_1 - y	0,86	0,179	4,8
2. x_2	18,2	0,36	6,2	1,1	2,0	x_2 - y	0,61	0,282	2,1
3. x_3	102,0	3,21	9,9	10,1	3,1	x_3 - y	0,91	0,142	6,4
4. y	92,0	3,18	10,8	10,1	3,4	-	-	-	-

Таблица 250 – Корреляционная связь и путевые коэффициенты

Признаки	Коэффициенты парной корреляции между:				Путевые коэффициенты				
	x_1	x_2	x_3	y	x	x_1	x_2	x_3	доля влияния, %
1. x_1 *)	1,00	0,38	0,67	0,86	x_1	0,46	0,03	0,37	39,5
2. x_2	0,38	1,00	0,62	0,61	x_2	0,18	0,08	0,34	5,2
3. x_3	0,67	0,62	1,00	0,91	x_3	0,31	0,05	0,56	50,9

*) Признаки: x_1 – высота растений;
 x_2 – длина главной метелки;
 x_3 – количество колосков в главной метелке;
 y – количество зерен в главной метелке

Таблица 251 – Результаты регрессионного анализа

Статистические значения	Уравнение регрессии
1) x_1y ; $r = 0,81 \pm 0,207$; $T = 3,9$ $a = 100,099$; $b = -2,803$; $c = 0,020$ yx_1 ; $r = 0,82 \pm 0,199$; $T = 4,1$ $a = -223,851$; $b = 1,617$; $c = 7889,8$	$y = a + b \cdot x + c \cdot x$ $y = a + b \cdot x + c/x$
2) x_2y ; $r = 0,69 \pm 0,254$; $T = 2,7$ $a = 117,542$; $b = -2,990$; $c = 0,021$ yx_2 ; $r = 0,70 \pm 0,251$; $T = 2,8$ $a = 227,784$; $b = 1,738$; $c = 8385,0$	$y = a + b \cdot x + c \cdot x$ $y = a + b \cdot x + c/x$
3) x_3y ; $r = 0,89 \pm 0,100$; $T = 5,6$ $a = -73,643$; $b = 0,579$; $c = 2505,5$ yx_3 ; $r = 0,89 \pm 0,159$; $T = 5,9$ $a = 2566,056$; $b = -71,153$; $c = 0,514$	$y = a + b \cdot x + c \cdot x$ $y = a + b \cdot x + c/x$

На корреляционное поле можно нанести разброс точек (значений признаков на пересечении координат) и теоретическую линию регрессии на основе значений уравнения регрессии.

12.4.9 Отзывчивость сортов сельскохозяйственных культур на удобрения

Для определения отзывчивости сортов или гибридов любых сельскохозяйственных зерновых культур нужно взять 2-3 нормы минеральных удобрений. Например, отзывчивость сортов риса на двух нормах удобрений:

- оптимальная или низкая норма – $N_{24}P_{12}K_{12}$ г д.в. на 100 г почвы;
- повышенная или высокая норма – $N_{48}P_{24}K_{24}$ г д. в. на 100 г почвы.

Опыты можно ставить в поле, в лизиметрах или вегетационных сосудах. Повторность опыта трехкратная. Разрабатываются схемы опытов для каждой культуры, можно использовать любые нормы удобрений от нулевых (без удобрений) до средних и максимальных. Здесь нужно тщательно внести удобрения, посеять семена, вырастить растения, убрать их, провести биометрический анализ и статистическую обработку результатов исследований.

Опыты по отзывчивости растений можно проводить по изучению любых признаков:

- динамика роста и развития растений;
- формирование листовой поверхности, ее площади, кустистости и т.д.;
- любого количественного признака (высота растений, число узлов и междоузлий, диаметр узлов и длину междоузлий, длину колоса, число колосков и зерен в колосе, масса зерна с колоса, растения и 1000 зерен);

Значения индексов отзывчивости сортов и гибридов к минеральным удобрениям мы обозначаем символом "R", что означает "response" – с английского языка – отзывчивость.

После биометрического анализа растений по интересующим исследователя признакам, проводится статистическая обработка результатов каждого признака по сортам по каждому варианту опыта. Из статистической обработки нужно взять только два значения: среднее арифметическое признака и его ошибку для определения достоверности различий по признаку между вариантами по критерию t Стьюдента.

В таблице 252 приводятся результаты изучения сортов риса на двух фонах удобрений.

Такие расчеты по определению средних значений и критерия t Стьюдента нужно проводить по каждому признаку. Напомним, если $t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$, то между средними значениями двух вариантов сорта конкретного признака различия статистически достоверны, и наоборот, если $t_{\text{факт.}} < t_{\text{табл.}}$ – различия признака между вариантами не достоверны.

Таблица 252 – Биометрические показатели растений риса, выращенных при различных нормах минеральных удобрений

Сорт	Норма удобрений	Высота растений, см		Длина главной метелки, см		Количество колосков с главной метелки, шт.	
		\bar{x}	t ^{*)}	\bar{x}	t	\bar{x}	t
Рапан	$N_{48}P_{24}K_{24}$	98,7	6,39	17,3	4,59	136,0	1,28
Рапан	$N_{24}P_{12}K_{12}$	88,4		15,6		125,9	
Дружный	$N_{48}P_{24}K_{24}$	102,4	6,05	15,1	1,32	161,5	5,89
Дружный	$N_{24}P_{12}K_{12}$	88,0		14,4		109,5	
Лиман	$N_{48}P_{24}K_{24}$	91,4	9,74	14,7	9,37	130,1	7,15
Лиман	$N_{24}P_{12}K_{12}$	76,4		11,7		86,6	

^{*)} t табл. = 2,09

Отзывчивость сельскохозяйственных культур различных сортов на минеральные удобрения по тем или иным признакам может быть положена в основу разработки элементов сортовой агротехники и для подбора родительских пар для гибридизации при выведении новых сортов с различной реакцией на минеральное питание.

Для определения отзывчивости сортов различных культур к минеральным удобрениям существует несколько методов (Климашевский Э.Л., 1991; Гамзикова О.И., 1994; Скаженник М.А., 2004). Но они во многих случаях сложные. Мы упростили метод определения отзывчивости, на примере сортов риса, к минеральным удобрениям. Для определения отзывчивости сорта к минеральным удобрениям применили отношение значения признака на высоком фоне к его величине на низком фоне удобрений. У сорта Рапан число колосков на главной метелке на повышенном фоне было 136, а на пониженном – 125,9. Частное от деления $136 : 125,9 = 1,08$. Это и есть индекс отзывчивости (табл. 253).

Таблица 253 – Отзывчивость сортов риса по некоторым признакам на нормы минеральных удобрений

Сорт	Норма удобрения	Количество колосков с главной метелки, шт.		Число зерен с главной метелки, шт.		Масса зерна с главной метелки, г		Масса зерна с растения, г	
		\bar{x}	R	\bar{x}	R	\bar{x}	R	\bar{x}	R
Рапан	N ₄₈ P ₂₄ K ₂₄	136,0	1,08	124,8	1,10	3,3	1,14	8,7	1,50
Рапан	N ₂₄ P ₁₂ K ₁₂	125,9		113,4		2,9		56,8	
Дружный	N ₄₈ P ₂₄ K ₂₄	161,5	1,47	139,4	1,52	2,8	1,27	10,4	2,21
Дружный	N ₂₄ P ₁₂ K ₁₂	109,5		91,7		2,2		4,7	
Хазар	N ₄₈ P ₂₄ K ₂₄	146,1	2,29	137,6	1,36	3,4	1,26	8,1	1,47
Хазар	N ₂₄ P ₁₂ K ₁₂	113,2		101,2		2,7		5,5	
Мирный	N ₄₈ P ₂₄ K ₂₄	118,1	1,22	102,7	1,23	2,2	1,16	7,8	1,53
Мирный	N ₂₄ P ₁₂ K ₁₂	96,9		83,5		1,9		5,1	

Примечание: \bar{x} – среднее арифметическое значение признака;
R – индекс отзывчивости.

$$R = \frac{\text{значение на высоком фоне}}{\text{значение на низком фоне}} = \frac{136}{125,9} = 1,08$$

Можно сделать шкалу отзывчивости, например:

R = 1,40 – слабая отзывчивость сорта по конкретному признаку;

R = 1,41–1,80 – средняя отзывчивость;

R = 1,81 и выше – высокая отзывчивость.

В любых агротехнических опытах с нормами минеральных, органических и других удобрений можно определить индекс отзывчивости сорта по интересующему признаку.

В сельскохозяйственной практике часто используют признак отзывчивости сорта на различные нормы и дозы минеральных, органических и других удобрений. В литературе много сообщений об отзывчивости сортов на минеральное питание. Одни сорта хорошо отзывчивы на различные нормы минеральных удобрений, другие – слабо.

13. УДОБРЕНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Все связано со всем; все должно куда-то деваться; природа "знает" лучше; ничто не дается даром.

Б. Коммонер, 1971

Органические и минеральные удобрения, применяемые в качестве средств интенсификации земледелия, по химическому составу не инородны живой природе и рациональное их использование становится мощным фактором ее развития, однако поступление в природную среду большого количества бытовых, промышленных и животноводческих стоков нарушает равновесие и является источником загрязнения почв.

Э.Г. Дегодюк, 1981

Окружающая среда – это целостная система взаимосвязанных природных и антропогенных объектов и явлений, в которой протекает жизнь человеческого общества. Проблема охраны окружающей среды стала особенно актуальной на рубеже XX–XXI вв. из-за резкого возрастания техногенной нагрузки на среду обитания. В наступившем XXI в. эта проблема будет стоять в одном ряду с сохранением мира и экономическим развитием общества. Для выработки природоохранных мероприятий эта проблема рассматривается на глобальном, региональном и местном уровнях.

Система человек–окружающая среда – очень сложная, с бесконечным множеством прямых и обратных связей. Разумное регулирование ее состояния зависит от знания всех компонентов, составляющих ее, закономерностей экологического равновесия и круговорота веществ. В природе различают два типа круговорота веществ: геологический и биологический. Последний лежит в основе сельскохозяйственного производства. При этом, чем выше культура земледелия, тем меньше элементов питания теряется в биологическом круговороте. Интенсификация земледелия привела к вовлечению в него значительного количества средств. Использование этих средств должно быть грамотным, рациональным и увязанным с охраной окружающей среды.

В мировой практике в качестве одного из основных рычагов повышения урожайности сельскохозяйственных культур используются минеральные удобрения. За счет их применения обеспечивается не менее 50 % прироста урожая. Успехи агрохимии, с одной стороны, позволили в сравнительно короткий срок существенно поднять урожайность сельскохозяйственных культур. Однако, с другой стороны, их применение вызвало массу новых проблем, связанных с процессами загрязнения* биосферы и, в конечном счете, отрицательным воздействием на человека. Справедливости ради следует отметить, что минеральные удобрения при научно обоснованном их примене-

* Загрязнение – это нежелательное изменение физических, химических или биологических свойств воздуха, земли и воды, которое может сейчас или в будущем оказывать неблагоприятное воздействие на природу, производственные процессы, условия жизни человека, истощать или портить его сырьевые ресурсы. Загрязнители – это остатки того, что человек производит, использует или выбрасывает.

нии не являются существенным фактором загрязнения окружающей среды. Однако полностью исключить негативное влияние их на биосферу нельзя.

Загрязнение природной среды удобрениями происходит по следующим причинам: 1) несовершенство технологии транспортировки, хранения, туковмешивания и внесения удобрений; 2) нарушение норм и сроков их применения; 3) водная и ветровая эрозия почв; 4) несовершенство качества минеральных удобрений; 5) интенсивное использование промышленных и бытовых отходов в качестве удобрений без контроля их химического состава.

Потери отдельных питательных элементов в результате эрозии почвы бывают различными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склонов и интенсивности орошения. Недобор урожая из-за вымывания питательных веществ на слабосмытых почвах составляет 10–12 %, на среднесмытых – 30–50, а на сильносмытых – 60–80 %. В связи с этим постоянное увеличение объемов применения удобрений требует более детального представления о превращениях питательных элементов. Установлено, что вымывание из почвы катионов подчиняется следующей закономерности: $\text{NH}_4 > \text{Na} > \text{K} > \text{Mg} < \text{Ca}$, анионов – $\text{Cl} > \text{NO}_3 > \text{PO}_4$. Потери удобрений при транспортировке, хранении и внесении в почву достигают 10–15 %. Из-за несовершенства самих удобрений и нарушения технологии их применения ежегодно с одного гектара пашни теряется 80–110 кг азота, 5–10 фосфора и 60–70 кг калия. В среднем по сельскохозяйственным культурам усвоение растениями из удобрений азота составляет 40–50 %, фосфора 10–20, калия 50–60 %.

Одной из причин таких низких коэффициентов использования удобрений является их неравномерное распределение по площади поля. При неравномерном их внесении одни растения получают избыточное, а другие недостаточное количество питательных веществ, что приводит к неодинаковым темпам развития и созревания растений, снижению урожая и качества продукции, причем, чем концентрированнее удобрение, тем выше потери урожая. Особенно неудовлетворительно вносятся смеси, приготовленные из удобрений с неоднородным гранулометрическим составом. Оптимальный, с точки зрения усвоения питательных веществ, размер гранул минеральных удобрений находится в пределах 1,5–3 мм. Такие гранулы удобны при распределении их и туковыми сеялками, и разбрасывателями.

В системе применения удобрений важно правильно определить нормы и соотношения питательных элементов, выбрать оптимальные формы удобрений, сроки и способы их внесения. Избыточное, несбалансированное, с нарушением правил агротехники внесение удобрений снижает урожай, ухудшает его качество, вызывает заболевания культурных растений, делает растениеводческую продукцию опасной для животных и человека. Предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратного азота в кормах составляет 0,25 % сухой массы. Содержание в них калия свыше 3 % вредит животным и человеку. Чрезмерно высокие нормы удобрений могут привести к загрязнению поверхностных и грунтовых вод, аккумуляции в них нитратов, нитритов, сульфатов, хлоридов и тяжелых металлов в концентрациях, превышающих предельно допустимую (табл. 254; Ионас В.А., Вильдфлуш И.Р., Кукреш С.П., 1998).

Чрезмерное повышение концентрации питательных веществ в водоемах вызывает усиленное размножение планктона, разрастание прибрежной флоры, что постепенно приводит к сокращению площади зеркала водной поверхности, обмелению, заилению, а также гибели водных организмов из-за дефицита растворенного в воде кислорода.

Таблица 254 – Предельно допустимая концентрация вредных веществ в природных водах, мг/л

Вещество*	Хозяйственно-питьевые воды	Рыбохозяйственные водоемы
Аммиак	2,0	0,005
Анилин	0,1	0.0001
Бор	0,5	0,1
Медь	1,0	0,004
Молибден	0,25	0,0012
Мочевина	0,1	80
Мышьяк	0,05	0,05
Нитраты	45	40
Нитриты	3,3	0,08
Сульфаты	500	100
Хлориды	350	30
Циклогексанол	0,5	0,001
Циклогексанон	0,2	0,0005
Цинк	1,0	0,01

*Дополнено А.Х. Шеудженом

Опасность загрязнения окружающей среды в значительной степени зависит от вида удобрений.

13.1. Азот и окружающая среда

Азотным удобрениям принадлежит ведущая роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. При их внесении усиливается рост не только надземных органов растений, но и корневой системы. Это сопровождается, в свою очередь, накоплением в почве большого количества корневых остатков, которые обогащают ее органическим веществом, способствуют разрыхлению и улучшению водно-физических свойств. В то же время, при несбалансированном применении азотные удобрения могут воздействовать на агроэкосистему и в нежелательном направлении. Все формы азотных удобрений в почве трансформируются в нитраты. Эта самая опасная форма в смысле загрязнения окружающей среды. Нитраты не поглощаются почвой и свободно перемещаются по ее профилю с гравитационной и капиллярной водой. Нитраты – неперенный атрибут круговорота азота в природе, необходимая часть азотного питания растений. Они были, есть и будут, даже если полностью отказаться от применения удобрений. Главное, чтобы содержание нитратов в воде и продуктах питания не превышало ПДК (табл. 255; Титова В.И., Бусоргин В.Г., Шафранов О.Д. и др., 2005). Накопление нитратов в растениях может быть вызвано торможением биосинтеза сложных органических соединений. Скорость их образования зависит от освещения, сбалансированности минерального питания, а также от стрессовых факторов – мороз, засуха, сильное затемнение. Чем менее благоприятнее климатические условия, тем большая возможность накопления в растениях нитратов до токсического уровня от применения высоких норм удобрений.

Максимальное количество нитратов, не причиняющее вред человеку, составляет 5 мг/кг массы тела. Попадая с пищей и питьевой водой в организм животных и человека, нитраты после соответствующих превращений – нитриты, нит-

Таблица 256 – Вероятные потери азота из почв в результате вымывания

Экономический район, республика, область	КУ* = P/E ₀	Потери, %		Пахотные поч- вы, %		Возможные поте- ри, %	Вероятность влаж- ных лет, %;	Вымывание с уче- том вероятной влажности лет, %	Внесено азота с удобрениями, тыс. т	Потери азота при вымывании, тыс. т	Площадь пашни, тыс. га	Потери азота, кг/га пашни
		на тяжелых почвах	на легких почвах	тяжелые	легкие							
Россия в целом	–	–	–	–	–	–	–	(2,85)	3156	90	131267	0,7
Нечерноземная зона	–	–	–	–	–	–	–	(5,75)	1270	73	30789	2,4
Северо-Западный	≥1,33	6	30	64	36	14,6	85	12,4	210	26	3501	7,4
Центральный	1,00–1,33	5	25	83	17	8,4	60	5,0	625	31	14571	2,1
Волго-Вятский	–	4,7	23,5	87	13	7,1	55	3,9	286	11	7571	1,5
Центрально-Черноземный:	–	–	–	–	–	–	–	(1,13)	362	4,1	10693	0,4
Курская	0,77–1,15	4,3	21,5	98	2	4,6	45	2,1	71	1,5	1968	0,8
Липецкая	0,77–1,15	4,3	21,5	98	3	4,6	45	2,1	51	1,1	1647	0,7
Тамбовская	0,77–1,15	4,3	21,5	98	2	4,6	45	2,1	69	1,5	2265	0,7
Поволжский:	–	–	–	–	–	–	–	(0,89)	462	4,1	29439	0,1
Пензенская	0,77–1,15	4,3	21,5	97	3	4,8	45	2,2	60	1,3	2528	0,5
Татарстан	0,77–1,15	4,3	21,5	84	16	7,1	45	3,2	89	2,8	3752	0,8
Уральский:	–	–	–	–	–	–	–	(2,03)	237	4,8	17572	0,3
Пермская	1,00–1,33	5	25	95	5	6,0	60	3,6	47	1,7	2061	0,8
Екатеринбургская	1,00–1,33	5	25	98	2	5,4	60	3,2	57	1,8	1531	1,2
Удмуртия	0,77–1,33	4,5	22,4	90	10	6,3	45	2,8	46	1,3	1555	0,8
Западно-Сибирский:	–	–	–	–	–	–	–	(0,95)	190	1,8	19456	0Ю,1
Томская	1,00–1,33	5	25	99	1	5,2	60	3,1	21	0,7	671	1,0
Тюменская	0,66–1,33	4,3	21,5	93	7	5,5	45	2,5	43	1,1	1719	0,6
Дальневосточный	1,33	6	30	98	2	6,5	85	5,5	128	7	3071	2,3

КУ – коэффициент увлажнения; P – осадки; E₀ – испаряемость; цифры в скобках – усредненные данные по регионам.
 Прочерк означает, что усредненные по большим регионам показатели в расчетах не использовались.

вносение усиливает интенсивность денитрификационных процессов и приводит к улетучиванию азота. Потери азота удобрений в виде полуоксида азота могут достигать 50 %. Полуоксид азота, образуемый в результате денитрификации, способен разрушать озоновый слой атмосферы, предохраняющий поверхность Земли от прямого попадания губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей. Окисляясь озоном, полуоксид азота присоединяет молекулу воды и образует азотную и азотистую кислоты, которые выпадают с атмосферными осадками на сушу и поверхность Мирового океана.

При внесении повышенных норм азотных удобрений, особенно физиологически кислых, усиливается миграция по профилю почвы гуминовых и фульвокислот, катионов кальция и магния, нарушается питание растений калием. Потери Ca и Mg, их миграция также увеличиваются при внесении удобрений, содержащих нитраты и хлориды. Эти анионы не удерживаются почвенным поглощающим комплексом, их вымывание сопровождается выносом из пахотного слоя почвы эквивалентного количества катионов кальция, магния и других элементов, необходимых растениям.

Высокие нормы азотных удобрений снижают использование азота почвы, подавляя азотфиксацию свободноживущими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями. При внесении высоких норм азотных удобрений значительно усиливается минерализация природных запасов органических азотистых соединений, в результате которой могут оказаться неиспользованными избыточные количества минерального азота, образованного в результате минерализации органического вещества. Установлено, что из почвы может теряться в газообразной форме до 75 % азота, внесенного с удобрениями. Посевы сельскохозяйственных культур, имеющие несбалансированный уровень азотного питания, как правило, подвержены полеганию, сильнее поражаются болезнями и вредителями. Кроме того, необходимо отметить, что с азотными удобрениями в почву поступает определенное количество балластных веществ, в т. ч. тяжелые металлы*, такие как свинец, кадмий, медь и цинк. Таким образом, одностороннее применение азотных удобрений представляет большую опасность для окружающей среды.

Комплексная оценка процессов нитратонакопления в растениях, проведенная В.М. Назарюком (2004) показала, что их интенсивность обусловлена взаимодействием ряда природных и антропогенных факторов, которые можно представить в виде блок-схемы (рис. 117)

"Показатели, характеризующие процессы интенсивной аккумуляции нитратов в продукции, – пишет В.М. Назарюк (2004), – взаимосвязаны и взаимобусловлены. Природное воздействие связано с гидротермическими условиями и уровнем почвенного плодородия. Антропогенное влияние, вызывающее избыток нитратов в растениях, обусловлено отклонениями в соблюдении требований к агротехническим мероприятиям, недостаточно правильным подбором генотипа сорта для конкретных почвенно-климатических условий, недоучетом биологических особенностей культуры, нарушениями в питании азотом и зольными элементами. Показатели нитратонакопления в должной мере отражают как интенсивность воздействия отдельного фактора, так и вклад главных блоков (почва, удобрение, физиологически активные вещества и сорбенты, генотип растения) в регуляцию процессов нитратонакоп-

* Тяжелые металлы – 1) группа химических элементов имеющих плотность более 5 г/см³; 2) металлы с относительной атомной массой более 40.

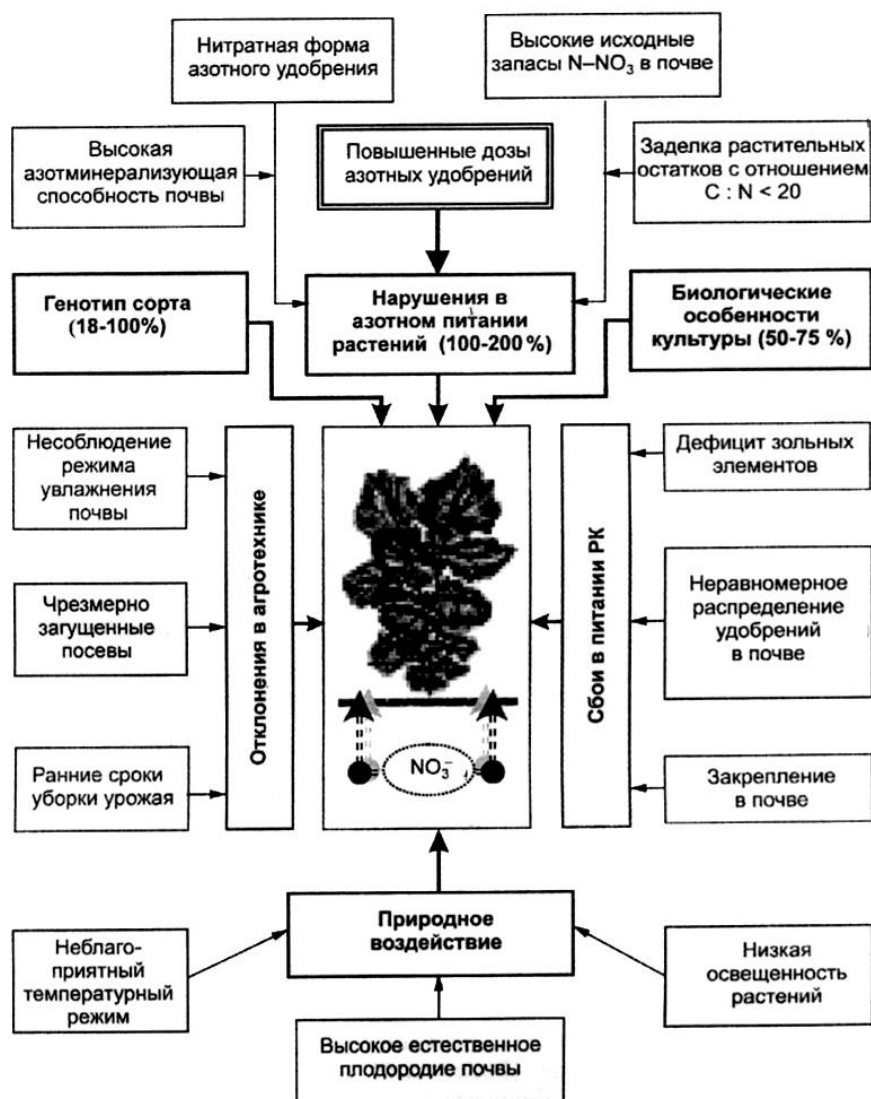


Рис. 117. Факторы, влияющие на аккумуляцию нитратов в растениях. В скобках даны изменения в содержании нитратов

копления в растениях. Практически все представленные на схеме антропогенные факторы, связанные с избыточным накоплением нитратов в продукции, можно в значительной степени использовать для регуляции азотного питания и, как следствие, для управления азотным обменом в растениях, чтобы не допускать ухудшения качества урожая. Наиболее сильное воздействие на аккумуляцию нитратов в продукции оказывают избыточные дозы азотных удобрений, генотип сорта и биологические особенности культуры. При этом, если культуру и сорт можно подбирать только перед посевом, то азотное питание поддается регуляции в течение всего вегетационного периода. Это позволяет оперативно вмешиваться в ход продукционного процесса растений и регулировать тем самым аккумуляцию нитратов в продукции".

13.2. Фосфор и окружающая среда

Фосфор минеральных удобрений, заделанный в почву, практически не передвигается в ней и прочно закрепляется почвенными коллоидами за счет химического и обменного поглощения. При внесении P_{35-100} содержание подвижного фосфора в почве повышается на 1 мг/100 г. Скорость его перемещения в глубь почвенного профиля не превышает 0,2–0,5 мм в год. Вынос фосфора с фильтрационными водами, как правило, находится в диапазоне 0,05–0,5 кг/га. Даже при поверхностном внесении удобрения вымывание фосфора незначительно и не превышает 1 % внесенной нормы. Систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению в почве остаточных фосфатов в усвояемой форме в среднем 22,6 % от внесенного количества фосфорных удобрений. Значительная часть этого элемента все же попадает в водоемы с твердыми почвенными частицами со сбросными и фильтрационными водами, вызывая еще более усиленную эвтрофикацию водоемов, чем азот.

Наиболее нежелательным последствием эвтрофикации является чрезмерное развитие водорослей в водоемах. Цветение воды в результате бурного развития водорослей возникает тогда, когда в воде концентрация фосфора превышает 0,1 мг/л. Экологические последствия загрязнения водоемов фосфором не ограничиваются лишь их эвтрофикацией. Фосфор, образуя лигандные комплексы, вовлекает в круговорот многие тяжелые металлы, повышение мобильности которых приводит к загрязнению природных вод. Присутствие полифосфатов в почве и воде сильно осложняет химическую очистку последних, сдвигая динамическое равновесие в сторону увеличения растворимости фосфорсодержащих соединений, что является фактором, затрудняющим осаждение естественным путем фосфорных солей в водоемах.

Внесение фосфорных удобрений может способствовать значительному увеличению содержания в почве подвижных форм марганца, цинка, свинца и других элементов (табл. 257; Кореньков Д.А., 1985).

Таблица 257 – Влияние фосфорных удобрений на содержание подвижных форм элементов в почве

Элемент	Содержание в водной вытяжке, мг/кг почвы		
	без удобрений	суперфосфат простой	суперфосфат двойной
Кальций	150000	80000	81000
Марганец	300	670	760
Железо	17000	3800	3900
Цинк	83	220	320
Барий	22	24	30
Ванадий	43	76	64
Свинец	37	51	66
Медь	16	28	20

Увеличение количества подвижных форм элементов в почве может привести к большему их поглощению культурными растениями. Совершенно очевидно, что доля этих элементов, в первую очередь тяжелых металлов, вносимых с фосфорными удобрениями, весьма незначительна. Одной из возможных причин увеличения подвижности макро– и микроэлементов в почве при систематическом применении простого и двойного суперфосфата может быть

растворяющее действие остатков неорганических кислот, входящих в состав этих удобрений. Так, под влиянием фтора и фосфат-ионов может увеличиваться подвижность меди, марганца и железа.

Токсичность фосфора для человека зависит от соотношения Са:Р и считается безвредным, если величина этого соотношения составляет 1:1–1,5. Избыток фосфора может вызвать различные заболевания. Внесение фосфорных удобрений представляет опасность и в связи с наличием ряда радиоактивных элементов в качестве примесей. С суперфосфатом в почву вносятся в виде примесей мышьяк, кадмий, свинец, фтор, уран, радий, селен, торий, стронций, которые должны рассматриваться как потенциальные источники загрязнения окружающей среды и строго учитываться при внесении в почву удобрений (табл. 258; Рамад Ф., 1981).

Таблица 258 – Содержание балластных элементов в суперфосфатах, мг/кг

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
Мышьяк	1,2–2,2	Свинец	7–92
Кадмий	50–170	Никель	7–32
Хром	66–243	Селен	0–4,5
Кобальт	0–9	Ванадий	20–180
Медь	4–79	Цинк	50–1430

Токсичные элементы попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, а также частично загрязняют их в технологическом процессе. В 1 т суперфосфата содержится около 15 кг фтора, который находится в растворимой форме и легко поступает в растение. Увеличение содержания фтора вызывает торможение фотосинтеза, процессов дыхания и роста, нарушает структуру ассимиляционного аппарата. Предельно допустимая концентрация фтора в почве – 3 мг/кг. При содержании в питьевой воде 2 мг/л этого элемента у человека повреждается эмаль зубов и возникает флюороз костей. При внесении фосфорных удобрений нельзя не учитывать и его антагонистические взаимоотношения со многими элементами минерального питания растений. Он связывает в почве цинк, медь и кобальт в недоступные для растений соединения.

13.3. Калий и окружающая среда

Калий удобрений сравнительно быстро поглощается почвенными коллоидами и не оказывает вредного влияния на окружающую среду. Тем не менее, калийные удобрения должны также использоваться с большой осторожностью. К нежелательным последствиям их применения следует отнести калиево-натриевое и сульфатно-хлоридное засоление и подкисление почвы, нарушение физиологической уравновешенности почвенного раствора и баланса таких элементов, как кальций, магний, натрий и бор. Неправильное использование концентрированных калийных удобрений может вызвать натрий-магниевый-кальциевый голодание растений, выщелачивание кальция и деструкцию почвы. Кроме того, внесение калийных удобрений может оказывать косвенное влияние на процесс нитрификации, изменяя поглощение почвой аммония. Удобрения – главный источник загрязнения водоемов калием. Размеры потерь этого элемента с фильтрационными водами составляют 10–20 кг/га, а средние величины вымывания калия из почвы – 20–25 кг/га.

Калий не вызывает эвтрофикации водоемов. Однако практически все калийные удобрения, применяемые в сельском хозяйстве, являются хлорсодержащими, а присутствие большого количества хлора в почве нежелательно из-за возможного образования хлорорганических соединений. Одновременно с внесением хлористого калия из расчета K_{45-60} в почву поступает 30–35 кг/га хлора. По данным многолетнего опыта Д.Н. Прянишникова, величина вымывания хлора, внесенного с хлористым калием, при ежегодной норме этого удобрения 100 кг/га д.в. составляет 60 кг/га. При внесении в почву 60 кг/га д.в. хлористого калия растения поглощают примерно 10 кг/га хлора, а остальное его количество вымывается в дренажные воды. Вместе с тем, ПДК этого элемента в местах водоснабжения установлена на уровне 0,25–0,5 мг/л. Кроме того, избыточное внесение калийных удобрений нарушает баланс Mg, Na, Ca и B в почве, что, в свою очередь, может отрицательно сказаться на питании растений риса этими элементами.

13.4. Органические удобрения и окружающая среда

Органические удобрения являются необходимым элементом современного сельскохозяйственного производства. Они способствуют уменьшению деградации почвы, а в сочетании с посевом многолетних трав – созданию бездефицитного баланса гумуса. Вместе с тем их применение активно влияет на биогеохимические циклы обмена веществ и на экологическое равновесие природных систем.

В состав органических удобрений, помимо питательных веществ, входят около 0,08–0,6 % соды, нитрозамины, вирусы, бактерии, личинки и яйца гельминтов и других микроорганизмов, в т. ч. и возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных (табл. 259; Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Попов П.Д., 1987).

Таблица 259– Содержание микроорганизмов в жидком навозе, клеток/мл

Микроорганизмы	Навоз	
	свиней	крупного рогатого скота
Бактерии: аэробные	$10^6-7,5 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^6-4 \cdot 10^6$
анаэробные	$10^7-2 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^7-2 \cdot 10^{12}$
Колиформы	$10^4-3,8 \cdot 10^6$	$10^3-3 \cdot 10^5$
Энтерококки	$10-1,2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6-7 \cdot 10^5$
Стафилококки	$10^{10}-10^{12}$	10^5-10^7
Клостридии	$1,8 \cdot 10^{12}-4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2-1,6 \cdot 10^4$
Сальмонеллы	в большинстве случаев	в большинстве случаев

Возбудители болезней животных и человека сохраняются в навозе и помете летом от 7 до 20 дней, в осенне-зимний период от 19 до 60 дней. Разбавление навоза водой приводит к увеличению периода их выживаемости более чем в 3 раза по сравнению с сохраняемостью в компактной массе навоза. Яйца гельминтов в жидком навозе, заложенном в отстойниках открытого типа в октябре–ноябре, сохраняют жизнеспособность 12 мес и более, а в навозе весенне–летнего периода – 4–5 мес. В связи с этим необходимо постоянно обеззараживать получаемый навоз.

С экологической точки зрения чрезвычайно важным является вопрос о количестве вносимых органических удобрений. При систематическом приме-

нении жидкого навоза крупного рогатого скота нормы его не должны превышать 30–35 м³/га, свиного – 20–25 и птичьего помета 15–20 м³/га. С жидким навозом должно вноситься не более 200 кг/га азота. При внесении избыточного количества животноводческих стоков в почву усиливается накопление ионов аммония, хлора, сульфат-ионов, значительно повышается концентрация одновалентных катионов, что может способствовать ее засолению. Легкоподвижные формы азота, содержащиеся в навозе, легко вымываются и улетучиваются из почвы, вызывая загрязнение грунтовых вод и атмосферы. Избыток фосфатов приводит к переходу содержащегося в почве железа в недоступное для растений состояние. Избыточное поступление с навозом калия блокирует усвоение растениями магния. При длительном использовании для удобрения осадков сточных вод в почве накапливаются тяжелые металлы, которые в больших количествах не только ухудшают условия роста и развития растений, но и накапливаются в урожае, снижая его качество.

Продукты распада навоза и птичьего помета вызывают аллергические и сердечные заболевания, воспаление слизистых оболочек у людей и животных. При большом разрыве между внесением и заделкой органических удобрений в атмосферу выделяется аммиак, сероводород, органическая пыль, которые, попадая в воздух, распространяются в радиусе более 3–4 км. Поэтому, для уменьшения вредного воздействия требуется строгое соблюдение установленных технологических операций.

Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений В.Г. Минеев (2004) считает:

- недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что не только в 1,5-2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, но и приводит к потерям жидких фракций;
- неравномерное внесение навоза и компостов;
- нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;
- недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстилочного навоза на орошение, а также слабое развитие трубопроводного транспорта и полевых навозохранилищ, что значительно повышает эксплуатационные затраты по сравнению с использованием мобильных средств, возрастают и потери навоза;
- недооценка использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.

13.5. Микроэлементы и окружающая среда

Микроэлементы являются неотъемлемой частью биосферы. Они в незначительных количествах необходимы для всех без исключения растений, животных и человека. Вместе с тем, микроэлементы занимают особое место среди загрязнителей, т. к. они в разной степени, но хорошо адсорбируются почвенными коллоидами в пахотном слое почвы, особенно при высокой гумусированности и тяжелом гранулометрическом составе. Предельно допустимая концентрация микроэлементов в почвах представлена в таблице 260 (Шеуджен А.Х., Алешин Н.Е., 1996).

Таблица 260 – Содержание микроэлементов в почвах, мг/кг

Микроэлемент	Диапазон	Наиболее часто встречающиеся концентрации	ПДК
Бор	2–100	5–30	100
Кобальт	1–50	1–10	50
Молибден	0,2–10,0	1–5	10
Цинк	10–300	10–50	300
Марганец	30–3000	400–2000	3000
Медь	2–100	5–20	100

Большинство микроэлементов являются тяжелыми металлами. Их соединения довольно устойчивы и долго сохраняют свои токсические свойства, поэтому важно знать темпы накопления микроэлементов в почве, размеры их поступления в растения и факторы, усиливающие эти процессы. Накоплению микроэлементов в почвах могут способствовать: 1) применение органических удобрений с ферм, где в корм животных добавляют микроэлементы; 2) использование в качестве удобрений промышленных, городских и бытовых отходов без систематического и тщательного контроля их химического состава; 3) нарушение технологии применения микроудобрений; 4) несовершенство качества и свойств микроудобрений. При накоплении в почве в значительных количествах они оказывают токсическое действие на растения, а через них по пищевой цепи могут попасть в организм животных и человека.

В основе токсического действия избыточных концентраций микроэлементов-металлов на растения лежит их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метаболической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут затрагивать самые различные звенья обмена веществ. Возможны перевод фосфора в недоступную для метаболизма форму труднорастворимых фосфатов тяжелых металлов, а также конкуренция тяжелых металлов с необходимым элементом минерального питания, замена на специфических переносчиках и передатчиках этого элемента в метаболической цепи, что может привести к его дефициту.

Применение микроудобрений оказывает весьма активное влияние на окружающую среду. Неправильное их использование ухудшает агрохимические свойства почвы, снижает урожай и его качество. Под воздействием тяжелых металлов, входящих в состав микроудобрений, изменяются показатели биологической активности почв. При их поступлении в почву изменяется численность и физиологическая активность отдельных групп микроорганизмов.

Тяжелые металлы могут оказать ингибирующее действие и на процесс естественного вовлечения азота в биологический круговорот – азотфиксацию. Это происходит при обоих типах азотфиксации: как симбиотической в результате угнетения жизнедеятельности азотфиксирующих клубеньковых бактерий, так и не симбиотической. Отчетливо ингибирование азотфиксации наблюдается при загрязнении тяжелыми металлами в концентрациях, в 10 и более раз превышающих фоновые. При поступлении избыточных количеств тяжелых металлов снижается ферментативная активность почвы.

Попадание микроудобрений в грунтовые и поверхностные воды может отрицательно сказаться на здоровье животных и человека. Нарушение сбалансированности питания растений макро- и микроэлементами приводит к раз-

личным заболеваниями и ухудшению фитосанитарного состояния почвы. У микроэлементов очень узок оптимальный и безвредный интервал концентрации – в этом их опасность.

Однако полный отказ от микроэлементов приведет к резкому снижению эффективности вносимых минеральных удобрений и недобору урожая, т. к. многие почвы не содержат необходимое количество микроэлементов. Вместе с тем, им принадлежит важное место в комплексе приемов природоохранной агротехники возделывания сельскохозяйственных культур. Ингибируя процесс нитрификации и подавляя активность уреазы, микроэлементы, внесенные в оптимальных нормах, способствуют сохранению аммонийного и амидного азота в почве более продолжительное время, тем самым предохраняя от загрязнения окружающую среду нитратами и нитритами. Они, усиливая минерализацию почвенного азота, увеличивают размеры усвоения растениями экстра-азота*. Аналогичное воздействие микроэлементы оказывают на органические соединения фосфора и калия в почве. Они повышают фунгистатичность почвы и коэффициенты использования растениями азота, фосфора и калия из удобрений; увеличивают урожай и улучшают его качество.

Для снижения темпов поступления тяжелых металлов из почвы в растения можно использовать известкование почв; внесение фосфорных удобрений, поддержание положительного баланса гумуса в почве за счет внесения навоза и сидератов, применение активированных углей в качестве фильтров для предотвращения накопления тяжелых металлов в урожае.

На аккумуляцию тяжелых металлов в почвах и растениях, наряду с агрогенными, влияют природные и техногенные факторы (рис. 118; Назарюк В.М., 2004).

"Почвообразующие породы разного гранулометрического состава, – пишет В.М. Назарюк (2004), сильно отличаются по степени накопления тяжелых металлов. Больше всего тяжелых металлов закрепляется в иле, значительно меньше – в пыли, особенно мало – в песке. Изменение в гранулометрическом составе почв может коренным образом изменить пул подвижных соединений тяжелых металлов и изменить темпы их накопления в растениях. Тяжелые металлы распределяются по органам растений неравномерно. Больше всего их накапливается, как правило, в корневых волосках, меньше – в корнях, еще меньше – в стеблях и особенно мало – в плодах. Значительное влияние «а распределение тяжелых металлов по органам растений оказывают биологические особенности культуры. Они влияют и на общее накопление. Среди распространенных сельскохозяйственных культур избыточным накоплением тяжелых металлов отличаются в первую очередь овощи. Аккумуляция тяжелых металлов также во многом зависит от генотипа сорта. Подбор его в соответствии с требованиями культуры, возможностями плодородия почв и условиями агротехники позволяет в значительной мере снизить накопление тяжелых металлов в растениях до экологически безопасного уровня. К наиболее значительным факторам, вызывающим загрязнение окружающей среды, относятся техногенные факторы. Улучшить коренным образом экологическую обстановку при техногенном загрязнении можно только на основе сокращения промышленных выбросов или перехода промышленного производства на безотходные технологии".

* Экстра-азот – минерализованный (мобилизованный) или дополнительно усвоенный растениями азот почвы под влиянием азотных удобрений.

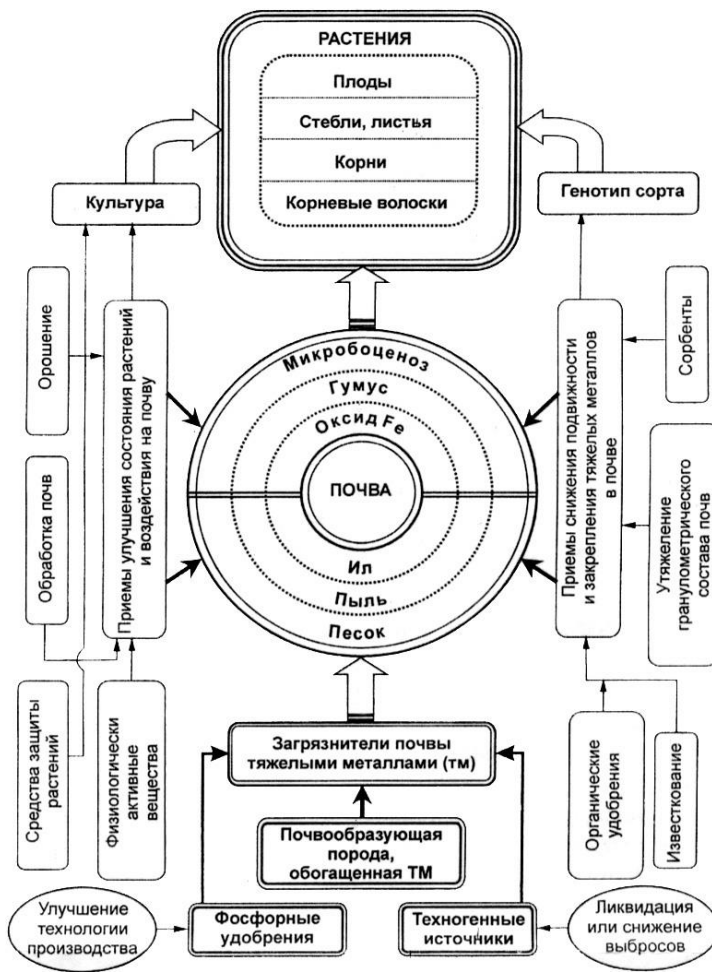


Рис. 118. Основные потоки загрязнения почв и растений тяжелыми металлами и пути их детоксикации

13.6. Пути предотвращения отрицательного воздействия удобрений на окружающую среду

Применение удобрений должно быть сбалансированным с обязательным учетом их взаимодействия с объектами окружающей среды. Предотвращению нарушения равновесия экосистемы* будет способствовать строгое соблюдение технологической дисциплины их внесения. Усилия по охране окружающей среды и рациональному использованию удобрений необходимо прилагать, начиная с их транспортировки и хранения. Поэтому, прежде всего, следует поставить заслон всем потерям от завода до поля. Большое значение имеет технология вне-

* Экосистема – 1) природный комплекс животных, растений и элементов среды их обитания (вода, воздух, почва), связанных между собой обменом веществ и энергии; 2) элементарная функциональная единица биосферы; система, включающая все организмы (биоценоз) на данном участке (биоценозе) и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ внутри системы.

сения удобрений. При использовании туковсевающих машин центробежного типа необходимо соблюдать точное расстояние между проходами и выбирать оптимальную ширину их захвата. Выполнение этих требований способствует равномерному распределению удобрений и более полному их использованию растениями. Значительные потери удобрений наблюдаются при их внесении с помощью сельскохозяйственной авиации, так как определенная часть их сносится на дороги и в лесополосы. Для снижения этих потерь специалистами хозяйств должны быть приняты меры по обеспечению более точной сигнализации и строгого контроля за качеством работы. Важно соблюдать научно обоснованные нормы, сроки и способы внесения удобрений, а также вести подбор наиболее оптимальных в данных условиях их форм. Это позволит повысить коэффициенты использования питательных элементов растениями и снизить их непроизводительные потери. Применение высоких норм удобрений зачастую не способствует увеличению урожая и улучшению его качества, но приводит к потерям питательных веществ и снижению степени их использования.

Наибольшую опасность среди удобрений с экологической точки зрения представляют азотные. Для повышения коэффициента использования азота необходимо, после рассева удобрений туковсевающими машинами, сразу же заделывать их в почву на глубину 8–10 см. Эффективность азотных удобрений значительно возрастает, если увязывать их внесение с физиологическими потребностями растений в азоте. Более рациональное использование этого элемента растениями достигается при дробном их применении. Другим, не менее важным агроприемом повышения эффективности азотных удобрений служит локальный способ их внесения. Его сущность заключается в том, что удобрение не перемешивается с почвой, а располагается на определенном расстоянии от семян или корневой системы в виде концентрированных очагов. В результате этого в ограниченном объеме почвы возникает зона с экстремально высокой концентрацией азота, во взаимодействие с которой вступает лишь часть корневой системы растения. Локализация азота создает неблагоприятные условия для микроорганизмов, связывающих азот, и препятствует необменному поглощению его почвой. Высокая концентрация азота в местах внесения подавляет нитрификацию и способствует сокращению его потерь за счет вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя. Благодаря этому коэффициент использования азота заметно возрастает. При фактическом равенстве вносимых вразброс и локально норм удобрений, а также ресурсов внешней среды гетерогенное распределение азота обеспечивает более дружное появление всходов, равномерное развитие растений во время вегетации и позволяет значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур. Повышение коэффициента использования азота при локальном внесении дает возможность существенно снизить нормы удобрений.

К приемам, снижающим загрязнение окружающей среды нитратами и нитритами, следует отнести также применение ингибиторов нитрификации. Это химические препараты, избирательно подавляющие рост и развитие нитрифицирующих микроорганизмов, осуществляющих первый этап нитрификации – окисление аммония до нитритов. Под влиянием ингибиторов нитрификации обеспечивается консервация азота удобрений в аммонийной форме в течение 1–1,5 месяцев, в результате чего улучшается азотное питание растений в начале вегетации и повышается их продуктивность. Это позволяет уменьшить кратность внесения азотных удобрений с двух-трех до одной и получить ощутимую экономическую выгоду.

Наиболее радикальным способом повышения эффективности азота удобрений может быть замена традиционных форм – сульфата аммония, аммиачной

селитры и мочевины на ультраконцентрированные, медленнодействующие, пролонгирующие азотные удобрения, способные освобождать азот со скоростью его метаболизма в растениях. Последние получают конденсацией мочевины с альдегидами или путем покрытия гранул тонкими пленками из органических (полимерных) или неорганических (элементарная сера) материалов. Заслуживает внимания удобрение почвы соломой зерновых культур. Внесение соломы снижает потери азота из минеральных удобрений благодаря закреплению в органической форме и торможению процесса нитрификации. Консервации аммонийного азота в почве способствует и внесение цеолитов. Немаловажное значение в повышении эффективности азотных удобрений имеют микроэлементы. Они участвуют в редукации нитратов и способствуют усвоению азота растением, тем самым снижая опасность загрязнения окружающей среды. Кроме того, микроэлементы тормозят гидролиз мочевины и подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов и тем самым являются в какой-то степени ингибиторами нитрификации. Одним из возможных направлений повышения эффективности азотных удобрений является применение регуляторов роста растений. Они усиливают поглощение и обмен азота в растениях, тем самым обеспечивают более полное использование ими азота удобрений.

Максимальное использование растениями азота удобрений достигается при полном их обеспечении фосфором, калием, кальцием, магнием, серой, железом, кремнием и другими элементами минерального питания. Внесение питательных элементов в соотношениях, не отвечающих биологическим потребностям культуры, может значительно снизить эффективность вносимых азотных удобрений и явиться причиной загрязнения окружающей среды токсичными остатками. Загрязнение окружающей среды нитратами возможно значительно уменьшить широким использованием биологического азота, увеличивая площади посева бобовых культур, и применении генной инженерии с целью усиления способности к азотфиксации. Потери в результате вымывания нитратов можно свести к минимуму путем научно обоснованного чередования сельскохозяйственных культур с включением в севооборот растений, имеющих глубокопроникающую корневую систему. Это способствует лучшему использованию питательных веществ из глубоких горизонтов почвы. Зависимость между вымыванием питательных элементов и видами сельскохозяйственных культур можно представить следующим порядком: овощные > корнеплоды > зерновые > кормовые травы.

Вынос фосфора из почвы может быть уменьшен за счет проведения противозерозионных мероприятий, необходимых агротехнических приемов и очистки сточных вод. Потери калия можно регулировать сроками и способами внесения удобрений в сочетании с комплексом приемов противозерозионной обработки почвы. Охрана окружающей среды в связи с применением органических удобрений должна предусматривать совершенствование технологии производства, создание научно обоснованных санитарно-защитных зон и утилизацию навоза с целью уменьшения вредного воздействия животноводческих отходов на литосферу, гидросферу, атмосферу, флору и фауну,

Для предотвращения загрязнения окружающей среды при работе с микроудобрениями необходимо: вносить оптимальные нормы в соответствующие сроки; выбирать оптимальный способ использования; применять хелатные формы микроэлементов; равномерно распределять их по удобряемой площади. Труднее устранить токсичность микроэлементов, чем их недостаток. Поэтому нарушение технологической дисциплины при внесении микроудобрений недопустимо.

14. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АГРОХИМИЯ

Экологическая агрохимия – это наука о расширенном, постоянно увеличивающемся круговороте веществ в агроценозах, изучающая на элементарном, молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биосферном уровнях химические взаимодействия растений с почвой и окружающей средой в целом.

Б.А. Ягодин, 2002

До XVIII в. человек жил в мире, который с точки зрения количества энергии, приходящейся на душу населения, мало отличался от доисторических времен, иначе говоря, человек жил в полной гармонии с природой. Лишь в 1705 г. Т. Ньюкомен изобрел пароатмосферную водоподъемную машину; Дж. Уатт (1796) с помощью паровой машины преобразовал тепловую энергию в механическую.

XIX в. был веком великого оптимизма. Он дал человеку одно из величайших достижений фундаментальной науки – электромагнитную теорию – основу современной техники. Он породил уверенность в том, что рационализм вместе с наукой и техникой принесут миру облегчение и покой.

Сделало шаг вперед и земледелие: расширился набор полевых культур, совершенствуются орудия труда. Все большее количество сельских хозяйств переходит на более прогрессивную плодосменную систему земледелия. Начинает зарождаться агрономическая химия. Как самостоятельная наука, она сформировалась именно в первой половине XIX столетия. Точкой отсчета, как было уже отмечено во введении книги, можно считать 1840 г., когда немецкий химик Ю. Либих опубликовал свой фундаментальный труд "Химия в приложении к земледелию и физиологии". Разработанная им теория минерального питания растений способствовала широкому внедрению минеральных удобрений в сельском хозяйстве. Романы английского писателя Г. Дж. Уэллса "Машина времени" (1895), "Человек невидимка" (1897), "Война миров" (1898) отражали суть этого периода и веру в способности человека, опирающуюся на новейшие и естественнонаучные концепции.

Первая четверть XX столетия была триумфом научного прогресса. Теория относительности связала воедино массу, время и энергию; квантовая механика дала возможность понять, что микромир подчиняется иным законам, чем макромир. Столь же поразительны были успехи квантовой механики, одного из основных разделов квантовой теории. Квантовая механика впервые позволила описать спектры атомов и понять их структуру, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов. В эти же годы произошли два важных события, имеющих отношение к энергетике. Сначала в 1939 г. О. Хан и Ф. Штрассман впервые зафиксировали процессы ядерного деления. Позже, в 1942 г. под руководством итальянского физика был создан атомный реактор. Период 1945–1965 гг. характерен кульминацией оптимистических взглядов на науку и технику. Ученые вызвали глубокое уважение и считались глашатаями нового витка жизненного уровня. Многие всерьез были уверены, что в обозримом будущем физическому труду не будет места и наступит полностью автоматизированный рай.

Дж. Стент (1965) в своей книге "Конец науки и золотой век" предположил, что неограниченный источник энергии – атом даст людям могущество, которое ранее приписывали богам. Однако чудес в природе не бывает: за синте-

зом следует тезис, за тезисом – антитезис. Антитезисом явилась книга А. Тоффлера (1970) "Крах будущего". Вторая половина XX столетия не принесла человечеству воображаемого триумфа. Развитие цивилизации, новейшие достижения науки и техники наряду с грандиозными успехами обусловили возникновение ряда серьезных проблем, из числа которых на первый план сегодня вышла экологическая безопасность (Бокрис Дж.О.М., 1982).

При современном состоянии технической вооруженности человечества, производительных сил и производственных отношений в мировом сообществе, росте численности населения Земли, нарастающей урбанизации, распространении стереотипа общества потребления – масштабы изъятия природных ресурсов, степень воздействия на окружающую среду и ее загрязнение стали опасными для самого человечества. Происходит изменение исторически сложившейся среды обитания, к которой за долгие годы эволюции человек генетически адаптирован.

Экологические проблемы, с которыми столкнулся человек на рубеже XX–XXI столетий, являются следствием увеличения объема отходов промышленных предприятий и химических заводов, сбрасываемых в окружающую среду, нерационального использования химических средств защиты растений и удобрений. Содержание многих химических элементов и нахождение различных их форм в почвах сельскохозяйственных угодий, стало зависеть от методов хозяйствования. Причем, техногенное загрязнение захватывает все новые территории. В связи с этим, интенсивное развитие получил новый раздел агрохимии, изучающий комплексное воздействие агрохимических средств на биосферу и их экологические функции при антропогенном воздействии на агроэкосистемы или при техногенном загрязнении – экологическая агрохимия.

В современных условиях академиком Б.А. Ягодиным (2002) определены следующие задачи экологической агрохимии:

- организовать внесение химических элементов в почву, определяемое точными расчетами, позволяющими максимально повысить их использование растениями, увеличивающими продуктивность растений, снижающими потери питательных элементов и загрязнение ими окружающей среды, а также улучшающими саму почву и повышающими ее плодородие;
- выдавать рекомендации по оптимизации круговорота химических элементов в сельскохозяйственных угодьях и естественных биоценозах, способствующие постоянному улучшению окружающей среды;
- осуществлять разработку методов определения параметров питания растений при добавлении в среду одних химических элементов и переводе в неусвояемые формы других с целью получения сельскохозяйственной продукции заданного элементного состава с учетом закона о генетически закрепленных коэффициентах использования поступивших в организм элементов питания;
- изучать регуляторные функции микроэлементов и их роль в реализации адаптивных свойств растений, механизмов поступления элементов в растения и их влияние на проницаемость клеточных мембран как важнейшего фактора формирования качества биомассы растений;
- организовать постоянный территориально развитый мониторинг содержания всех элементов в удобрениях, почве, воздухе, поливной и питьевой воде, растениях и животных. Обеспечить дальнейшее получение знаний по элементному составу диеты человека с учетом наследственности, мест проживания и возрастных особенностей людей;

– изучать причинно-следственные связи между изменениями внешней среды и возникающими в растениях явлениями, с тем чтобы своевременно реагировать на любые нежелательные изменения в биохимических и физиологических процессах у растений, ведущие к нарушению качества продукции. Фиксировать возникающие сдвиги в интенсивности отдельных биохимических реакций и физиологических процессов и изменение ряда процессов обмена и, как следствие, изменение количества и качества продукции, получаемой от данного вида;

– осуществлять определение оптимумов элементного состава различных сельскохозяйственных, лекарственных и интрадуцируемых растений в биогеохимических провинциях, организацию территориального размещения культурных растений в соответствии с картой биогеохимического районирования и имеющимися ресурсами содержания элементов;

– проводить выявление искусственных потоков элементов за счет перемещения посевного материала и пищевых продуктов по территории стран и континентов, оценку их размеров и сравнение с мощностью естественных биогеохимических миграций элементов, оценку влияния промышленности и другой хозяйственной и бытовой деятельности человека на изменение элементного состава сельскохозяйственных объектов в регионах, субрегионах и провинциях;

– регулировать с использованием естественной экологической обстановки целенаправленную корректировку элементного состава сельскохозяйственной продукции до оптимальных значений.

Л.А. Лебедева и И.Л. Едемская (2005) рекомендуют подходить к проектированию системы удобрения с позиции экологической агрохимии. Ими было показано, что научно обоснованная система удобрения решает три единые задачи:

– создание оптимальных условий питания растений с целью реализации генетического потенциала выращиваемой культуры по количеству и качеству получаемой продукции;

– повышение агрономической и экономической окупаемости затрат при использовании агрохимических средств с целью воспроизводства плодородия почв и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур;

– реализация экологических функций агрохимических средств в конкретных агроэкосистемах.

С учетом современного состояния окружающей среды, академиком В.Г. Минеевым (2004) были установлены, конкретизированы и сформулированы экологические функции агрохимии:

1. *Обеспечение оптимального круговорота биогенных элементов в агроценозе с активным их балансом.*

Регулируя биологический круговорот веществ, создавая их активный баланс и содержание в почвах и растениях, агрохимия выполняет важную экологическую функцию, так как нарушение баланса биогенных элементов в системе почва–растение ведет к ухудшению химического состава почв, природных вод и растений, что в свою очередь отрицательно сказывается на питательной ценности продукции и может привести к различным функциональным заболеваниям человека и животных. Поддержание положительного баланса и активного биологического круговорота элементов питания в земледелии – основа высокой продуктивности агроэкосистем.

2. *Воспроизводство плодородия, улучшение свойств и гумусного состояния почв.*

Эти задачи успешно решаются при ведении высокой культуры земледелия, предусматривающей комплексное использование агрохимических средств – органических и минеральных удобрений, химической мелиорации почв. Именно научно обоснованная система использования агрохимических средств позволяет избежать снижения биологической активности и ухудшения физико-химических и химических свойств почв, а также предотвратить ее дегумификацию. Без удобрений нельзя добиться расширенного воспроизводства плодородия почвы – необходимого условия для обеспечения роста урожайности. С реализацией потенциальной продуктивности районированных сортов сельскохозяйственных культур создаются более благоприятные условия для сохранения окружающей среды.

3. Оптимизация питания культурных растений биогенными макро- и микроэлементами.

Оптимизация условий воздушного и минерального питания растений усиливает деятельность физиологических барьеров, ограничивающих поступление не востребованных для биосинтеза химических элементов и токсических веществ в растения. Это в свою очередь позволяет получить экологически безопасную продукцию для питания человека и животных. Сбалансированное обеспечение растений элементами питания повышает устойчивость растительного организма к неблагоприятным факторам окружающей среды, усиливает стойкость к болезням и вредителям.

4. Снижение негативных последствий от глобального и локального техногенного загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами и другими токсическими элементами.

Это важнейшая экологическая функция агрохимии достигается инактивацией подвижных форм тяжелых металлов в корнеобитаемом слое почвы путем снижения кислотности почв, применением органических удобрений, внесением оптимальных для роста и развития норм и соотношений макро- и микроэлементов. Выполнение этой экологической функции агрохимии позволяет получить экологически безопасную продукцию питания.

5. Улучшение радиоэкологической ситуации в агроэкосистеме.

Факторами иммобилизации радиоактивных элементов в почве и снижения их поступления в растения являются известкование кислых почв, внесение органических удобрений, применение рациональных норм фосфорных и калийных удобрений.

6. Создание оптимальных культурных агроландшафтов для различных природных регионов в соответствии с их специализацией.

Путем целенаправленного изменения химического состава почвы, растений и грунтовых вод создают культурный ландшафт, качественно отличающийся от естественного. Зная оптимальные параметры химического состава звеньев агроландшафта, можно научно обоснованным применением агрохимических средств существенно его улучшить. В этом суть одной из важных экологических функций агрохимии.

7. Удобрения и химические мелиоранты – важное звено в системе противоэрозионных мероприятий.

Научно обоснованная система применения удобрений, создавая оптимальные условия для роста и развития корневой системы растений, улучшает физические свойства почвы, что в совокупности способствует лучшей защите ее от эрозии и снижает потери элементов питания.

8. *Повышение биологической активности почвы и улучшение структуры ее микробоценоза.*

Удобрения оказывают существенное влияние на биологическую активность и структуру микробоценоза почвы, причем их воздействие может быть прямым и опосредованным, через изменение условий жизни растений и почвенной биоты. Непосредственно удобрения оказывают влияние на процессы ассоциативной и симбиотической азотфиксации.

9. *Повышение устойчивости культурных растений к грибным и другим болезням.*

Оптимизация минерального питания растений повышает болезнеустойчивость. Фитозащитный эффект зависит от видов и форм удобрений. Так, фосфорные удобрения резко снижают заболеваемость зерновых культур бурой ржавчиной и корневой гнилью. Агрессивность возбудителя снежной плесени озимой ржи ослабляют антагонисты (бактерии, грибы, актиномицеты), развитие которых усиливается при использовании удобрений.

10. *Улучшение химического состава и питательной ценности растениеводческой продукции.*

Удобрения способствуют не только реализации генотипа конкретной культуры по продуктивности, но и улучшению качества получаемой продукции. И в этом, подчеркивает В.Г. Минеев (2004), трудно переоценить фундаментальное и прикладное значение агрохимии как науки, занимающей активные позиции в обеспечении постоянно растущего населения планеты высококачественными продуктами питания.

Комплексная реализация вышеперечисленных экологических функций агрохимии – задача рациональной системы удобрения и химической мелиорации почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. – 228 с.
2. Войтович Н.В., Сушеница Б.А., Капранов В.Н. Фосфаты России и ближнего зарубежья. М.: ВНИИА, 2005. – 448 с.
3. Гамзиков Г.П., Кострик Г.И., Емельянова В.Н. Баланс и превращение азота удобрений. Новосибирск: Наука, 1985. – 160 с.
4. Гедройц К.К. Избранные научные труды. М.: Наука, 1975. – 640 с.
5. Городний Н.М. Агрохимия. Киев: Выща школа, 1990. – 288 с.
6. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. – 261 с.
7. Ермохин Ю.И. Диагностика питания растений. Омск: Ом.ГАУ, 1995. – 208 с.
8. Ефимов В.Н., Горлова М.Л., Лунина Н.Ф. Пособие к учебной практике по агрохимии. М.: КолосС, 2004. – 192 с.
9. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения. М.: КолосС, 2003. – 320 с.
10. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: Рузаки, 2001. – 296 с.
11. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.
12. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. – 367 с.
13. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. – 216 с.
14. Куркаев В.Т., Шеуджен А.Х. Агрохимия. Майкоп: ГУРИПП "Адыгея", 2000. – 552 с.
15. Лебедева Л.А., Едемская Н.Л. Научные принципы системы удобрения с основами экологической агрохимии. М.: МГУ, 2005. – 320 с.
16. Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера. М.: Колос, 1984. – 245 с.
17. Минеев В.Г. Агрохимия. М.: МГУ–КолосС, 2004. – 720 с.
18. Муравин Э.А. Агрохимия. М.: КолосС, 2003. – 384 с.
19. Назарюк В.М. Эколого-агрохимические и генетические проблемы регулируемых агроэкосистем. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 240 с.
20. Никитишен В.И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы. М.: Наука, 2002. – 258 с.
21. Орлов Д.С. Химия почв. М.: МГУ, 1985. – 376 с.
22. Осипов А.И., Соколов О.А. Роль азота в плодородии почв и питании растений. С.-Петербург, 2001. – 360 с.
23. Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. М.: Россельхозиздат, 1981. – 184 с.
24. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. – 185 с.
25. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. Т. 1. Агрохимия. М.: Колос, 1965. – 768 с.
26. Романенко Г.А., Иванов А.Л., Клюкач В.А. и др. Концепция развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства Российской Федерации на период до 2010 года. М.: ВНИИА, 2005. – 80 с.
27. Сычев В.Г., Кузнецова Е.И., Кулаков В.А. и др. Орошение и применение удобрений в Нечерноземной зоне РФ. М.: ВНИИА, 2004. – 276 с.
28. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП "Адыгея", 2003. – 1028 с.
29. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса. Майкоп: ГУРИПП "Адыгея", 2005. – 1012 с.
30. Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Прокопенко В.В. Удобрения, почвенные грунты и регуляторы роста растений. Майкоп: ГУРИПП "Адыгея", 2005. – 404 с.
31. Юдин Ф.А. Методика агрохимических исследований. М.: Колос, 1980. – 366 с.
32. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия. М.: Колос, 2002. – 584 с.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТА* И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1.1. Направление подготовки "Агрохимия и агропочвоведение"

Квалификация – ученый агроном-эколог

Выпускник в зависимости от вида профессиональной деятельности подготовлен к выполнению следующих профессиональных задач:

- проведение почвенных, геоботанических, агрохимических и экологических обследований земель и составление почвенных и агрохимических карт и картограмм;
- рациональное использование земель и факторов интенсификации земледелия;
- разработка систем удобрения, воспроизводства плодородия почв и экологического равновесия агроландшафта;
- реализация экологически безопасных технологий возделывания сельскохозяйственных культур;
- анализ агрохимического и экологического состояния агроландшафтов и пути повышения их почвенного плодородия и противоэрозионной устойчивости;
- планирование и проведение почвенных, агрохимических, экологических, научных исследований;
- обобщение результатов научных экспериментов и формулирование выводов.

Квалификационные требования

Для решения профессиональных задач ученый агроном-эколог:

- составляет планы и маршруты проведения почвенных, агрохимических и экологических обследований;
- обеспечивает рациональное использование агроландшафтов и сельскохозяйственных угодий;
- составляет системы удобрения и воспроизводства плодородия почв в севооборотах;
- разрабатывает планы оснащения и организует работу агрохимических лабораторий;
- осуществляет контроль за соблюдением методик анализа почв и растений и технологической дисциплины при производстве продукции растениеводства;
- разрабатывает и принимает участие в реализации мероприятий по повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур, направленных на сокращение материальных затрат, снижение трудоемкости, повышение производительности труда;
- рассчитывает экономическую эффективность применения удобрений и химических мелиорантов;
- участвует в проведении научных исследований;
- изучает специальную литературу и другую научно-техническую информацию, достижения отечественной и зарубежной науки в области почвоведения, агрохимии и экологии.

Ученый агроном-эколог должен знать:

- состав, свойства, режимы и плодородие различных типов почв и их сельскохозяйственное использование;
- оптимальные параметры агрохимических, агрофизических, биологических свойств почв для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в различных климатических зонах страны;
- основы почвенного картирования и агрохимического обследования почв;
- методы почвенных и агрохимических исследований;
- современные инструментальные методы анализа почв, растений и других сельскохозяйственных объектов;
- основы водной, химической и фитомелиорации земель;
- основы минерального питания сельскохозяйственных культур в различные периоды их роста и развития;
- химический состав, свойства органических и минеральных удобрений, агромелиорантов, превращения их в почве, миграцию элементов питания и их биологический круговорот;
- методику разработки систем удобрения в севооборотах;
- экологические аспекты применения средств химизации в земледелии;

* Материалы взяты из "Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования" (М., 2000).

- технологии возделывания сельскохозяйственных культур и их техническое обеспечение;
- стандарты на удобрения, химические мелиоранты и растениеводческую продукцию;
- методы расчета экономической эффективности применения средств химизации земледелия;
- методы научных исследований, планирование и проведение экспериментов;
- правила и нормы охраны труда.

Требования к профессиональной подготовленности специалиста

Выпускник должен уметь решать задачи соответствующие его квалификации, указанные ранее.

Ученый агроном-эколог должен

знать:

- сущность физиологических процессов протекающих в растительном организме, закономерности формирования качества урожая;
- методы регулирования продуктивности и качества урожая;

владеть:

- методами анализа физиологического состояния растений.

Ученый агроном-эколог по специальности "Агрохимия и агропочвоведение" должен

знать:

- методы определения доз удобрений и химических мелиорантов для получения планируемых урожаев сельскохозяйственных культур;
- способы, сроки и технологии внесения удобрений и мелиорантов;
- особенности минерального питания сельскохозяйственных культур и его влияние на качество урожая.

владеть:

- методами почвенно-агрохимического обследования;
- методикой составления почвенных и агрохимических карт и картограмм;
- методами воспроизводства почвенного плодородия;
- навыками определения минеральных удобрений и химических мелиорантов;
- методикой составления проектно-сметной документации по применению средств химизации;
- методами разработки системы удобрения;
- методами расчета экономической эффективности применения химических средств в земледелии.

Ученый агроном-эколог по специальности "Агроэкология" должен

знать:

- учение о биосфере; продуктивность биоценозов и круговорот веществ;
- химический состав биосферы и его изменения в результате антропогенного воздействия;
- источники загрязнения окружающей среды, ПДК токсикантов, действие токсикантов на человека и животных.

владеть:

- экологической оценкой проектов систем удобрений, мелиорации;
- методами расчета экономической эффективности применения экологических мероприятий.

Наименование дисциплин и их основные разделы по специальностям "Агрохимия и агропочвоведение" и "Агроэкология"

Агрохимия. Питание растений и методы его регулирования, почвы как источник питания растений; химическая мелиорация почв; азотные, фосфорные, калийные, комплексные, органические и микроудобрения; технология хранения, подготовки и внесения удобрений; экология и удобрения.

Методы агрохимических исследований. Методы исследований: полевой, лизиметрический, вегетационный; агрохимический анализ почвы, анализ растений, анализ удобрений.

Система удобрения. Методологические и теоретические основы системы удобрения; научно-практические основы разработки системы удобрений; баланс питательных элементов и органического вещества; экологическая оценка системы удобрений.

Вопросы для самоконтроля по агрохимии (Квалификация – ученый агроном-эколог)

Введение и история агрохимии

1. Что дает применение удобрений?
2. Можно ли заниматься земледелием без применения удобрений?
3. Изложите понятие об агрохимии.
4. Сформулируйте основные направления в агрохимии.
5. Представление о питании растений и применение удобрений в Древнем мире (Аристотель, М.П. Катон, Л. Колумелла).

6. Взгляды на питание растений и применение удобрений в средние века.
7. Развитие взглядов на питание растений и применение удобрений в новой истории (Б. Палисси, И.Р. Глаубер, А.Д. Тэер, Ю. Либих, Ж.Б. Буссенго, М.В. Ломоносов, А.Т. Болотов, М.Г. Павлов, А.Н. Энгельгардт, Д.И. Менделеев, К.А. Тимирязев).
8. Ю. Либих и Ж.Б. Буссенго – создатели агрохимии как науки.
9. Агрохимия в новейшей истории (Д.Н. Прянишников, К.К. Гедройц, А.Н. Лебединцев, Ф.В. Чириков, И.Н. Антипов-Каратаев, П.Г. Найдин, А.В. Соколов, Я.В. Пейве, К.П. Магницкий, В.Г. Минеев).
10. Д.Н. Прянишников – основоположник современной агрохимии, основатель отечественной агрохимической научной школы.

Питание растений и применение удобрений

1. Содержание в товарной части урожая сельскохозяйственных культур органических соединений, определяющих его качество.
2. Элементный состав растений и понятие о тяжелых металлах.
3. Напишите по группам химические элементы, необходимые растениям.
4. Укажите физиологические функции необходимых элементов.
5. Напишите наиболее дефицитные макро- и микроэлементы.
6. Как изменяется состав растений и качество урожая в зависимости от условий внешней среды и режима минерального питания?
7. В каких формах соединений растения поглощают элементы питания?
8. Опишите состав питательного раствора и его свойства.
9. Изложите современные представления о корневом питании растений.
10. Каковы особенности строения корневой системы различных сельскохозяйственных культур?
11. Внешние признаки недостатка элементов питания у растений.
12. Как влияют факторы внешней среды на питание растений:
 - концентрации солей;
 - соотношение элементов в растворе;
 - реакция почвенного раствора;
 - аэрация;
 - увлажнение;
 - тепловой режим.
13. Как изменяется потребление элементов питания в различные периоды роста и развития растений?
14. Изложите понятия критического периода питания и максимума поглощения.
15. Что понимается под биологическим и хозяйственным выносом элементов питания сельскохозяйственными культурами?

Агрохимические свойства и плодородие почв

1. Охарактеризует почву как источник элементов питания растений.
2. Какие химические вещества, содержащие элементы питания растений, находятся в почве?
3. Минералогический состав различных механических фракций почвы и содержания в них элементов питания растений.
4. Какова роль гумуса в обеспечении растений элементами питания?
5. Изложите понятие о поглотительной способности почвы.
6. Как используются знания о биологической поглотительной способности почвы в применении удобрений?
7. Каково значение механической и физической поглотительной способности почвы?
8. Как изменяется доступность и подвижность фосфора при химическом поглощении?
9. Как изменяется доступность и подвижность азота и калия при обменном поглощении?
10. Значение необменного поглощения в применении удобрений.
11. Изложите понятие о почвенном поглощающем комплексе.
12. Охарактеризуйте почвенный поглощающий комплекс:
 - состав обменных катионов;
 - емкость катионного обмена;
 - необменное поглощение катионов;
 - обменное поглощение анионов.
13. Какие виды кислотности почвы изучены и какое они имеют значение для технологии применения удобрений?
14. Как можно устранить избыточную кислотность почвы?
15. В каких почвах проявляется избыточная щелочность и как она устраняется?
16. Изложите понятие о подвижных (доступных) формах элементов питания в почве.
17. Содержание, формы соединений и превращение в почве:

- азота;
 - фосфора;
 - калия;
 - других макро- и микроэлементов.
18. Понятие о потенциальном и эффективном плодородии почвы.
19. Агрохимическая характеристика основных типов почв (содержание гумуса, реакция, емкость обмена, состав обменных катионов, обеспеченность элементами питания):
- дерново-подзолистые;
 - серые лесные;
 - черноземы;
 - каштановые почвы.

Минеральные удобрения

1. Опишите свойства наиболее распространенных минеральных удобрений (внешний вид, химическая формула, содержание действующего вещества, сущность технологий производства, превращение в почве, способы применения):
- аммонийная селитра;
 - сульфат аммония;
 - карбамид;
 - жидкий аммиак;
 - суперфосфат простой;
 - суперфосфат двойной;
 - осажденный фосфат;
 - фосфоритная мука;
 - хлористый калий
 - калийная соль.
2. Регламенты и экологические ограничения при использовании удобрений.
3. Изложите потребность в микроудобрениях в зависимости от культур и почв.
4. Назовите наиболее распространенные формы, дозы и способы применения микроудобрений:
- борные;
 - молибденовые;
 - марганцевые;
 - медные;
 - цинковые.
5. Характеристика комплексных удобрений, их преимущества и недостатки:
- аммофос;
 - диаммофос;
 - нитроаммофос;
 - нитроаммофоска;
 - нитрофос;
 - нитрофоска;
 - жидкие комплексные удобрения.

Органические удобрения

1. В чем заключается особая роль органических удобрений в сельском хозяйстве?
2. Опишите содержание элементов питания в органических удобрениях; их подготовку, хранение и внесение:
- подстилочный навоз;
 - бесподстилочный навоз;
 - птичий помет;
 - торф;
 - солома;
 - зеленое удобрение.
3. Экологические требования к подготовке и применению органических удобрений.

Химическая мелиорация почв

1. Как влияет известкование на плодородие почв?
2. Роль известкования в системе природоохранных мероприятий.
3. Какие удобрения применяются при известковании? Приведите их характеристику.
4. Как определить потребность в известковании и рассчитать дозу мелиоранта?
5. В чем сущность гипсования почв?
6. Агрохимические и агроэкологические требования при гипсовании почв.
7. Какие удобрения применяются при гипсовании и их характеристика?
8. Как определить потребность в гипсовании и рассчитать дозу мелиоранта?

Вопросы для самоконтроля по методам агрохимических исследований (Квалификация – ученый агроном-эколог)

1. Роль отечественных ученых в разработке методики агрохимических исследований.
2. Планирование и проведение вегетационного опыта.
3. Значение полевого опыта в развитии агрохимии и разработке технологий применения удобрений.
4. Виды полевых опытов.
5. Методика и техника проведения полевых опытов.
6. Длительный полевой опыт – основа получения агрохимических знаний.
7. Значение статистической оценки наблюдений и исследований.
8. Планирование и проведение агрохимических анализов почвы.
9. Анализ растений с целью определения условий питания и качества растениеводческой продукции.
10. Анализ удобрений с целью определения их качества.
11. Структура и содержание работы подразделений агрохимслужбы.
12. Комплексное агрохимическое обслуживание сельских товаропроизводителей; демонстрация, пропаганда и внедрение прогрессивных технологий.
13. Задачи агрохимслужбы в осуществлении контроля за соблюдением требований экологической безопасности и охраны окружающей среды.

Вопросы для самоконтроля по системе удобрения (Квалификация – ученый агроном-эколог)

1. Понятие системы удобрения как одного из компонентов адаптивно-ландшафтных систем земледелия.
2. Агрохимические основы системы удобрения.
3. Охарактеризуйте составные части системы удобрения:
 - система удобрения в севообороте, многолетних насаждениях и других сельскохозяйственных угодьях;
 - система накопления, подготовки и внесения удобрений;
 - система мер по охране окружающей среды;
 - годовой и календарный план применения удобрений.
4. Особенности системы удобрения по зонам страны.
5. Изложите принципы системы удобрения основных культур (потребность в питании, средние дозы, сроки и способы внесения удобрений; влияние удобрений на качество продукции):
 - озимая пшеница;
 - озимый ячмень;
 - яровой ячмень;
 - кукуруза;
 - рис;
 - сахарная свекла;
 - подсолнечник;
 - соя;
 - горох;
 - капуста;
 - морковь;
 - огурец;
 - томат;
 - лук;
 - картофель;
 - многолетние травы;
 - естественные сенокосы и пастбища;
 - кормовая свекла;
 - плодовые семечковые культуры;
 - плодовые косточковые культуры;
 - ягодники;
 - виноград.
6. Особенности применения удобрений в зависимости от чередования культур в севооборотах, последствия удобрения, агротехнологии.
7. Система удобрения при нормальном, интенсивном и высоком типе базовых технологий производства сельскохозяйственных культур.
8. Баланс элементов питания и гумуса в почве.

9. Технология хранения, подготовки и внесения минеральных удобрений.
10. Технология известкования и гипсования почв.
11. Технология подготовки и внесения органических удобрений.
12. Охрана труда при использовании удобрений.
13. Агроэкологическая, экономическая и энергетическая эффективность применения удобрений.
14. Меры по охране природы при использовании минеральных, органических удобрений и мелиорантов.

1.2. Направление подготовки "Агрономия"

Выпускник в зависимости от вида профессиональной деятельности подготовлен к выполнению следующих профессиональных задач:

- реализация технологий возделывания сельскохозяйственных культур и воспроизводства плодородия почв;
- эффективное использование удобрений;
- оценка качества растениеводческой продукции;
- анализ состояния и перспектив повышения урожайности сельскохозяйственных культур и воспроизводства плодородия почв.

Квалификационные требования

Для решения профессиональных задач ученый агроном:

- уточняет и реализует современные экологически безопасные технологии производства растениеводческой продукции и воспроизводства плодородия почв в конкретных условиях хозяйства;
- разрабатывает системы удобрения;
- осуществляет контроль за качеством продукции полеводства, овощеводства, плодоводства;
- проводит расчет экономической эффективности производства и реализации продукции;
- участвует в проведении научных исследований по влиянию технологических приемов на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы, и их внедрение в производство.

Ученый агроном должен знать:

- оптимальные параметры плодородия и свойств почв для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в различных зонах страны;
- технологии производства растениеводческой продукции в различных экологических условиях;
- свойства удобрений и агромелиорантов, методы определения норм их применения и расчета баланса органического вещества и элементов питания;
- методы расчета экономической эффективности агрономических мероприятий и производства продукции;
- научные основы современных систем земледелия и методы их проектирования.

Требования к профессиональной подготовленности выпускника

Выпускник должен уметь решать задачи, соответствующие его квалификации указанные ранее.

Ученый агроном должен

знать:

- основные свойства почв и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур;
- сущность физиологических процессов, протекающих в растительном организме;
- способы осуществления основных технологических приемов внесения удобрений;
- способы рационального использования земли, удобрений.

владеть:

- методами анализа физиологического состояния растений;
- теоретическими основами водной, химической и фитомелиорации земель;

Ученый агроном по специальности "Агрономия" должен

знать:

- методы регулирования продуктивности полевых культур и качества урожая;
- методы определения норм удобрений для получения планируемых урожаев полевых культур;
- современные технологии возделывания полевых культур и воспроизводства плодородия почвы;
- научные основы современных систем земледелия и методы их проектирования.

владеть:

- методами оценки качества проводимых полевых работ.

Ученый агроном по специальности "Плодоовощеводство и виноградарство" должен знать:

- методы регулирования продуктивности плодовых и овощных культур и качества урожая;
- методы расчета доз удобрений под плодовые и овощные растения;
- современные технологии производства плодов, овощей, винограда, лекарственных и декоративных растений;

владеть:

- методами оценки качества выполнения полевых работ.

Наименование дисциплины и ее основные разделы по специальностям "Агрономия", "Плодоовощеводство и виноградарство", "Защита растений", "Селекция и генетика сельскохозяйственных культур"

Агрохимия

Питание растений и приемы его регулирования, свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений; химическая мелиорация почв; азотные, фосфорные, калийные удобрения; микроудобрения, комплексные удобрения; органические удобрения; технология хранения, подготовки и внесения удобрений; система применения удобрений в хозяйствах; удобрения и окружающая среда; методы агрохимических исследований.

**Вопросы для самоконтроля по агрохимии
(Квалификация – ученый агроном)**

Введение

1. Что дает применение удобрений?
2. Можно ли заниматься земледелием без применения удобрений?
3. Изложите понятие об агрохимии.
4. Агрохимия – химическая основа земледелия.
5. Д.Н. Прянишников – основоположник современной агрохимии.

Питание растений и применение удобрений

1. Содержание в товарной части урожая сельскохозяйственных культур органических соединений, определяющих его качество.
2. Элементный состав растений.
3. Напишите по группам химические элементы, необходимые растения.
4. Укажите физиологические функции необходимых элементов.
5. Напишите наиболее дефицитные макро- и микроэлементы.
6. Как изменяется питание растений и качество урожая в зависимости от условий внешней среды и режима минерального питания?
7. В каких формах соединений растения поглощают элементы питания?
8. Опишите состав питательного раствора и его свойства.
9. Изложите современные представления о корневом питании растений.
10. Каковы особенности строения корневой системы различных сельскохозяйственных культур?
11. Внешние признаки недостатка элементов питания у растений.
12. Как влияет на питание растений концентрация солей, соотношение элементов в растворе, реакция почвенного раствора?
13. Как изменяется потребление элементов питания в разные периоды роста и развития растений?
14. Изложите понятия критического периода питания и максимума поглощения.
15. Что понимается под биологическим и хозяйственным выносом элементов питания сельскохозяйственными культурами?

Агрохимические свойства и плодородие почв

1. Охарактеризуйте почву как источник элементов питания.
2. Какие химические вещества, содержащие элементы питания, находятся в почве?
3. Какова роль гумуса в обеспечении растений элементами питания?
4. Изложите понятия о поглотительной способности почвы.
5. Как используются знания о поглотительной способности почвы в применении удобрений?
6. Изложите сущность биологической, химической и обменной поглотительной способности почв.
7. Понятие о почвенном поглощающем комплексе.
8. Какова роль состава обменных катионов и емкости катионного обмена?
9. Какие виды кислотности почв изучены и какое они имеют значение для технологии применения удобрений?
10. Как можно устранить избыточную кислотность почвы?
11. В каких почвах проявляется избыточная щелочность и как она устраняется?
12. Изложите понятие о подвижных (доступных) формах элементов питания в почве.

13. Понятие о потенциальном и эффективном плодородии почвы.
14. Плодородие основных типов почв (содержание гумуса, реакция, обеспеченность элементами питания, потребность в удобрениях и химической мелиорации):
 - дерново-подзолистые;
 - серые лесные;
 - черноземы;
 - каштановые почвы.

Минеральные удобрения

1. Изложите свойства минеральных удобрений (внешний вид, химическая формула, содержание действующего вещества, превращение в почве, способы применения):
 - аммонийная селитра;
 - сульфат аммония;
 - карбамид;
 - жидкий аммиак;
 - суперфосфат простой;
 - суперфосфат двойной;
 - осажженный фосфат;
 - фосфоритная мука;
 - хлористый калий;
 - калийная соль.
2. Назовите наиболее распространенные формы, дозы и способы применения микроудобрений:
 - борные;
 - молибденовые;
 - марганцевые;
 - медные;
 - цинковые.
3. Характеристика комплексных удобрений, их преимущества и недостатки:
 - аммофос;
 - диаммофос;
 - нитроаммофос;
 - нитроаммофоска;
 - нитрофос;
 - нитрофоска;
 - жидкие комплексные удобрения;
 - комплексные удобрения с микроэлементами.

Органические удобрения

1. В чем заключается особая роль органических удобрений в сельском хозяйстве?
2. Опишите содержание элементов питания в органических удобрениях; их подготовку, хранение и внесение:
 - подстилочный навоз;
 - бесподстилочный навоз;
 - птичий помет;
 - торф;
 - солома;
 - зеленое удобрение.

Химическая мелиорация почв

3. Как влияет известкование на плодородие почв?
4. Какие удобрения применяются при известковании и их свойства?
5. Как определить потребность в известковании и рассчитать дозу мелиоранта?
6. Влияние гипсования на свойства солонцовых почв.
7. Какие удобрения применяются при гипсовании и их свойства?
8. Как определить потребность в гипсовании и рассчитать дозу мелиоранта?

Система удобрения

1. Понятие системы удобрения как одного из компонентов систем земледелия.
2. Агрохимические основы системы удобрения.
3. Назовите составные части системы удобрения
4. Особенности системы удобрения по зонам страны.
5. Изложите принципы системы удобрения основных культур (потребность в питании, средние дозы, сроки и способы внесения удобрений; влияние удобрений на качество продукции):
 - озимая пшеница;
 - озимый ячмень;

- яровой ячмень;
 - кукуруза;
 - рис;
 - сахарная свекла;
 - подсолнечник;
 - соя;
 - горох;
 - капуста;
 - морковь;
 - столовая свекла;
 - огурец;
 - томат;
 - лук;
 - картофель;
 - многолетние травы;
 - естественные сенокосы и пастбища;
 - кормовая свекла;
 - плодовые семечковые культуры;
 - плодовые косточковые культуры;
 - ягоды;
 - виноград.
6. Особенности применения удобрений в зависимости от чередования культур в севооборотах, последствия удобрения, агротехнологии.
 7. Система удобрения при нормальном, интенсивном и высоком типе базовых технологий производства сельскохозяйственных культур.
 8. Баланс элементов питания и гумуса в почве.
 9. Технология хранения, подготовки и внесения минеральных удобрений и мелиорантов.
 10. Технология подготовки и внесения органических удобрений.
 11. Охрана труда при использовании удобрений.
 12. Агроэкологическая, экономическая и энергетическая эффективность применения удобрений.
 13. Меры по охране природы при использовании минеральных, органических удобрений и мелиорантов.

Значения критерия t на 5, 1 и 0,1%-ном уровне значимости

Число степеней свободы	Уровень значимости		
	0,05	0,01	0,001
1	12,71	63,66	-
2	4,30	9,93	31,60
3	3,18	5,84	12,94
4	2,78	4,60	8,61
5	2,57	4,03	6,86
6	2,45	3,71	5,96
7	2,37	3,50	5,41
8	2,31	3,36	5,04
9	2,26	3,25	4,78
10	2,23	3,17	4,59
11	2,20	3,11	4,44
12	2,18	3,06	4,32
13	2,16	3,01	4,22
14	2,15	2,98	4,14
15	2,13	2,95	4,07
16	2,12	2,92	4,02
17	2,11	2,90	3,97
18	2,10	2,88	3,92
19	2,09	2,86	3,88
20	2,09	2,85	3,85
21	2,08	2,83	3,82
22	2,07	2,82	3,79
23	2,07	2,81	3,77
24	2,06	2,80	3,75
25	2,06	2,79	3,73
26	2,06	2,78	3,71
27	2,05	2,77	3,69
28	2,05	2,76	3,67
29	2,05	2,76	3,66
30	2,04	2,75	3,65
50	2,01	2,68	3,50
100	1,98	2,63	3,39
∞	1,96	2,58	3,29

Приложение 3

Необходимые значения коэффициента корреляции при различных уровнях значимости Р и разном числе степеней свободы df ($r_f = n-2$)

df	p		df	p	
	0,05	0,01		0,05	0,01
5	0,75	0,87	27	0,37	0,47
6	0,71	0,83	28	0,36	0,46
7	0,67	0,80	29	0,36	0,46
8	0,63	0,77	30	0,35	0,45
9	0,60	0,74	35	0,33	0,42
10	0,58	0,71	40	0,30	0,39
11	0,55	0,68	45	0,29	0,37
12	0,53	0,66	50	0,27	0,35
13	0,51	0,64	60	0,25	0,33
14	0,50	0,62	70	0,23	0,30
15	0,48	0,61	80	0,22	0,28
16	0,47	0,59	90	0,21	0,27
17	0,46	0,58	100	0,20	0,25
18	0,44	0,56	125	0,17	0,23
19	0,43	0,55	150	0,16	0,21
20	0,42	0,54	200	0,14	0,18
21	0,41	0,53	300	0,11	0,15
22	0,40	0,52	400	0,10	0,13
23	0,40	0,51	500	0,09	0,12
24	0,39	0,50	700	0,07	0,10
25	0,38	0,49	900	0,06	0,09
26	0,37	0,48	1000	0,06	0,09

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ (<i>Шеуджен А.Х.</i>)	3
1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ АГРОХИМИИ (<i>Куркаев В.Т.</i>)	6
2. ИСТОРИЯ АГРОХИМИИ (<i>Шеуджен А.Х.</i>)	10
2.1. Представление о плодородии почв и питании растений в Древнем мире (с древнейших времен до первой половины V в.)	10
2.2. Взгляды на питание растений и применение удобрений в средние века (V–XV вв.)	15
2.3. Исследования по физиологии растений в новой истории и создание агрохимии как науки (XVI–XIX вв.)	17
2.3.1. Значение работ основателя современной химии А.Л. Лавуазье для становления агрохимической науки	20
2.3.2. Развитие учения о питании растений в трудах Ю.Г. Валлериуса, Н.Т. Соссюра и А.Д. Тэера	21
2.3.3. Ю. Либих и Ж.Б. Буссенго – основатели агрохимии как самостоятельной науки	23
2.3.4. Значение работ Д.Б. Лооза, Ю. Сакса и И.А. Кнопа в создании науки агрохимии	26
2.3.5. Роль М.В. Ломоносова в развитии знаний о почве и агрономии в России	27
2.3.6. Значение работ Дж. Пристли, Я. Ингенхауза и Ж. Сенебье для теории углеродного питания растений	29
2.3.7. Развитие учения о питании растений в работах К.А. Тимирязева	30
2.3.8. В.В. Докучаев и П.А. Костычев – основоположники отечественного генетического и агрономического почвоведения	32
2.3.9. Исследования по применению удобрений в России	33
2.3.10. В.Р. Вильямс – выдающийся агропочвовед, основатель травопольной системы земледелия	43
2.4. Агрохимическая наука в новейшей истории: создание современной агрохимии в России (XX в.)	46
2.4.1. Д.Н. Прянишников – основоположник отечественной агрохимической научной школы	46
2.4.2. Фундаментальные исследования К.К. Гедройца по химии почв – теоретическая основа применения удобрений и химических мелиорантов	47
2.4.3. Развитие идей Д.Н. Прянишникова и К.К. Гедройца в отечественной агрохимии	48
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АГРОХИМИИ	91
3. ХИМИЧЕСКИЙ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ (<i>Шеуджен А.Х.</i>)	91
3.1. Вода	91
3.1.1. Содержание и формы воды в растениях	91
3.1.2. Строение молекулы воды	94
3.1.3. Физические и химические свойства воды	95
3.1.4. Роль воды в растительном организме	98
3.1.5. Классификация растений по их отношению к воде	100
3.1.6. Влияние удобрений на водный режим растений	103
3.2. Минеральные вещества	105
3.3. Белки	109
3.3.1. Функции белков	111
3.3.2. Аминокислоты – структурные элементы белков	113
3.3.3. Структурная организация белков	121
3.3.4. Физико-химические свойства белков	129

3.3.5. Классификация белков	131
3.3.5.1. Протеины	132
3.3.5.2. Протеиды	134
3.3.6. Идентификация и количественное определение белков	135
3.3.7. Проблема белкового дефицита на Земле	137
3.4. Углеводы	139
3.4.1. Функции углеводов	140
3.4.2. Строение и классификация углеводов	141
3.4.2.1. Моносахариды	141
3.4.2.2. Олигосахариды	146
3.4.2.3. Полисахариды	147
3.4.3. Физические и химические свойства углеводов	148
3.4.4. Распространение углеводов в растениях	150
3.4.4.1. Моносахариды	150
3.4.4.2. Олигосахариды	152
3.4.4.3. Полисахариды	154
3.4.5. Методы определения содержания углеводов в растениях	160
3.4.6. Содержание углеводов в растениях в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания	162
3.4.6.1. Зерновые культуры	162
3.4.6.2. Зернобобовые культуры	162
3.4.6.3. Кормовые травы	163
3.4.6.4. Корнеплоды	164
3.4.6.5. Клубнеплоды	164
3.4.6.6. Овощные культуры	165
3.4.6.7. Плодово-ягодные культуры	166
3.5. Липиды	167
3.5.1. Функции липидов	168
3.5.2. Строение и классификация липидов	169
3.5.2.1. Жиры	172
3.5.2.2. Кутин, суберин и воскá	174
3.5.2.3. Стероиды	175
3.5.2.4. Липофильные пигменты	175
3.5.2.5. Амфипатические липиды	176
3.5.3. Методы определения липидов	177
3.5.4. Содержание липидов в растениях в зависимости от их обеспеченности элементами питания	179
3.5.4.1. Зерновые культуры	179
3.5.4.2. Зернобобовые культуры	179
3.5.4.3. Масличные культуры	180
3.5.4.4. Корнеплоды	180
3.5.4.5. Кормовые травы	181
3.5.4.6. Клубнеплоды	181
3.6. Нуклеиновые кислоты	181
3.7. Витамины	186
4. РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ (Шеуджен А.Х.)	196
4.1. Макроэлементы	196
4.2. Мезоэлементы	210
4.3. Микроэлементы	216
4.4. Ультрамикроэлементы	226
5. АГРОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ (Шеуджен А.Х.)	231
5.1. Фотосинтез	232
5.1.1. Физиология и биохимия фотосинтеза	232
5.1.2. Экология фотосинтеза	242

5.1.2.1. Интенсивность и спектральный состав света	242
5.1.2.2. Концентрация диоксида углерода и кислорода	243
5.1.2.3. Температура	244
5.1.2.4. Водный режим	246
5.1.2.5. Ветровой режим	247
5.1.2.6. Засоление почвы	247
5.1.2.6. Минеральное питание	247
5.1.2.7. Антропогенное загрязнение атмосферы	249
5.1.2.8. Обеспеченность фотосинтетического аппарата пла- стидными пигментами	249
5.2. Дыхание	250
5.2.1. Физиология и биохимия дыхания	250
5.2.2. Экология дыхания	256
5.2.2.1. Температура	257
5.2.2.2. Вода	257
5.2.2.3. Состав атмосферы	258
5.2.2.4. Свет	258
5.2.2.5. Минеральное питание	259
5.2.2.6. Повреждения и механические раздражители	259
5.2.2.7. Химические воздействия	260
5.2.2.8. Наличие субстратов	260
5.2.2.9. Возраст и физиологическое состояние тканей	260
5.2.3. Способы управления дыханием	261
5.3. Минеральное питание	261
5.3.1. Агрохимия и физиология минерального питания	261
5.3.1.1. Корневая система растений и ее поглотительная спо- собность	261
5.3.1.2. Механизмы подачи элементов минерального питания к поверхности корня	263
5.3.1.2.1. Корневой перехват	263
5.3.1.2.2. Массовый поток	263
5.3.1.2.3. Диффузия	264
5.3.1.3. Поступление элементов питания в корневую систему растения	265
5.3.1.3.1. Диффузионно-осмотическая теория	266
5.3.1.3.2. Липоидная теория	266
5.3.1.3.3. Ультрафильтрационная теория	266
5.3.1.3.4. Адсорбционная теория	267
5.3.1.3.5. Мембранные транспортные белки и теория переносчиков	269
5.3.1.3.6. Ионофоры	271
5.3.1.3.7. Перенос макромолекул через мембраны	274
5.3.1.4. Ионный транспорт в растении	276
5.3.1.4.1. Внутриклеточный транспорт	276
5.3.1.4.2. Ближний транспорт	277
5.3.1.4.3. Дальний транспорт	280
5.3.2. Экология минерального питания растений	281
5.3.2.1. Состав и концентрация почвенного раствора	281
5.3.2.2. Реакция почвенного раствора	283
5.3.2.3. Окислительно-восстановительные процессы в почвах	286
5.3.2.4. Содержание воды	288
5.3.2.5. Освещенность	288
5.3.2.6. Аэрация и питание растений	289
5.3.2.7. Температура и питание растений	290
5.3.2.8. Почвенная микрофлора и питание растений	291

5.3.3. Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста и вынос элементов урожаем	292
6. ПОЧВА – ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА И ИСТОЧНИК ПИТАТЕЛЬ- НЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ РАСТЕНИЙ	295
6.1. Жидкая фаза почвы (Шеуджен А.Х.)	295
6.2. Газовая фаза почвы (Шеуджен А.Х.)	301
6.3. Живая фаза почвы (Шеуджен А.Х.)	306
6.3.1. Микрофлора почвы	307
6.3.2. Биологическая активность почв	313
6.4. Твердая фаза почвы	314
6.4.1. Минеральная часть почвы (Бочко Т.Ф.)	315
6.4.2. Органическое вещество почвы (Бочко Т.Ф.)	324
6.5. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв	335
6.5.1. Почвенные коллоиды, их образование, состав и значение в плодородии почв (Шеуджен А.Х.)	335
6.5.2. Поглотительная способность почв (Куркаев В.Т.)	340
6.6. Почвенный поглощающий комплекс, емкость обмена и состав об- менных катионов в почвах	345
6.6.1. Почвенный поглощающий комплекс (Куркаев В.Т.)	345
6.6.2. Емкость катионного обмена и состав обменных катионов (Куркаев В.Т.)	347
6.6.3. Поглощение анионов почвой (Шеуджен А.Х.)	348
6.7. Кислотность и щелочность почвы (Куркаев В.Т.)	350
6.7.1. Кислотность почвы	350
6.7.2. Щелочность почвы	353
6.7.3. Буферность почвы	354
6.8. Содержание химических элементов в почве и трансформация их соединений (Шеуджен А.Х.)	355
6.8.1. Азот (Куркаев В.Т.)	355
6.8.2. Фосфор (Куркаев В.Т.)	360
6.8.3. Калий (Куркаев В.Т.)	363
6.8.4. Кремний	365
6.8.5. Кальций	367
6.8.6. Магний	368
6.8.7. Сера	371
6.8.8. Железо	374
6.8.9. Алюминий	376
6.8.10. Натрий	380
6.8.11. Хлор	381
6.8.12. Бор	382
6.8.13. Кобальт	384
6.8.14. Марганец	386
6.8.15. Медь	390
6.8.16. Молибден	393
6.8.17. Цинк	397
6.8.18. Ванадий	399
6.8.19. Иод	402
6.8.20. Селен	407
6.8.21. Литий	410
6.8.22. Титан	412
6.8.23. Бериллий	413
6.8.24. Барий	414
6.8.25. Бром	416
6.8.26. Фтор	416
6.8.27. Кадмий	419

6.8.28. Мышьяк	421
6.8.29. Никель	423
6.8.30. Ртуть	424
6.8.31. Свинец	427
6.8.32. Хром	429
6.8.33. Стронций	432
6.8.34. Уран	434
6.9. Баланс питательных веществ и гумуса почвы (Шеуджен А.Х.)	435
6.9.1. Баланс питательных веществ в почве	435
6.9.2. Баланс гумуса в почве	440
6.10. Типы почв, их агрономическая характеристика и сельскохозяй- ственное использование (Шеуджен А.Х.)	442
6.11. Законы земледелия – научная основа сохранения плодородия почв и эффективного применения удобрений (Шеуджен А.Х.)	449
6.11.1. Плодородие почв	449
6.11.1.1. История развития учения о плодородии почвы	450
6.11.1.2. Требования растений к плодородию почвы	451
6.11.1.3. Виды плодородия почв	452
6.11.1.4. Показатели плодородия почв	454
6.11.1.5. Факторы, лимитирующие плодородие и приемы его повышения	454
6.11.1.6. Агрохимия и плодородие почв	455
6.11.1.7. Мероприятия по управлению плодородием почвы	459
6.11.2. Законы земледелия	460
6.11.2.1. Закон равнозначимости и незаменимости факторов жизни растений	460
6.11.2.2. Закон минимума	461
6.11.2.3. Закон совокупного действия факторов жизни растений .	463
6.11.2.4. Закон возврата веществ в почву	464
6.11.2.5. Закон толерантности	464
6.11.2.6. Закон плодосмена	465
6.11.2.7. Закон соответствия растительного сообщества свое- му местообитанию	466
6.11.2.8. Закон автотрофности зеленых растений	466
6.11.2.9. Закон антагонизма ионов	467
6.11.2.10. Закон соответствия культуры земледелия уровню социально-экономического развития общества	467
6.11.2.11. Закон возрастания плодородия почвы	468
6.11.2.12. "Закон" убывающего плодородия почвы	468
6.11.2.13. "Закон" народонаселения Мальтуса	469
ПРИКЛАДНАЯ АГРОХИМИЯ	470
7. УДОБРЕНИЯ: СВОЙСТВА, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПРИМЕНЕНИЕ (Шеуджен А.Х.)	470
7.1. Классификация, ассортимент и свойства удобрений	470
7.2. Минеральные удобрения	477
7.2.1. Макроудобрения	477
7.2.1.1. Азотные удобрения	477
7.2.1.1.1. Нитратные удобрения	480
7.2.1.1.2. Аммонийные удобрения	483
7.2.1.1.3. Аммонийно-нитратные удобрения	488
7.2.1.1.4. Амидные удобрения	491
7.2.1.1.4.1. Легкорастворимые удобрения	491
7.2.1.1.4.2. Слаборастворимые удобрения	493
7.2.1.1.4.3. Труднорастворимые (медленно-	494

	действующие) удобрения	
	7.2.1.1.5. Аммиачные удобрения	497
	7.2.1.1.6. Карбамид-аммонийно-нитратные удобрения	499
7.2.1.2.	Фосфорные удобрения	501
	7.2.1.2.1. Водорастворимые фосфорные удобрения	503
	7.2.1.2.2. Цитратно- и лимоннорастворимые фосфорные удобрения	509
	7.2.1.2.3. Труднорастворимые фосфорные удобрения.	514
7.2.1.3.	Калийные удобрения	518
	7.2.1.3.1. Простые калийные удобрения	518
	7.2.1.3.2. Концентрированные калийные удобрения ...	520
7.2.1.4.	Кремниевые удобрения	523
7.2.1.5.	Углеродные удобрения	526
7.2.2.	Мезоудобрения	527
	7.2.2.1. Железные удобрения	527
	7.2.2.2. Кальциевые удобрения	530
	7.2.2.3. Магниевые удобрения	535
	7.2.2.3.1. Простые магниевые удобрения	539
	7.2.2.3.2. Сложные магниевые удобрения	541
	7.2.2.4. Серные удобрения	542
7.2.3.	Микроудобрения	547
	7.2.3.1. Борные удобрения	551
	7.2.3.2. Марганцевые удобрения	554
	7.2.3.3. Кобальтовые удобрения	555
	7.2.3.4. Медные удобрения	556
	7.2.3.5. Молибденовые удобрения	557
	7.2.3.6. Цинковые удобрения	558
7.2.4.	Комплексные удобрения	558
	7.2.4.1. Сложные удобрения	561
	7.2.4.2. Комбинированные удобрения	568
	7.2.4.3. Смешанные удобрения	577
7.3.	Органические удобрения	582
	7.3.1. Навоз	583
	7.3.1.1. Подстилочный навоз	584
	7.3.1.2. Бесподстилочный навоз	597
	7.3.1.3. Навозная жижа	602
	7.3.2. Птичий помет	604
	7.3.3. Фекалии	610
	7.3.4. Озерные отложения	612
	7.3.5. Торф и торфяные компосты	616
	7.3.6. Солома, пожнивные и корневые остатки	633
	7.3.6.1. Солома	633
	7.3.6.2. Пожнивные и корневые остатки	637
	7.3.7. Зеленое удобрение	638
	7.3.8. Органические удобрения на основе промышленных и коммунальных отходов	650
	7.3.8.1. Сточные воды	650
	7.3.8.2. Осадки сточных вод	656
	7.3.8.3. Промышленные и бытовые отходы	661
	7.3.9. Биогумус	665
	7.3.9.1. Роль червей в формировании и воспроизводстве плодородия почв	665
	7.3.9.2. Химический состав и свойства биогумуса	673
	7.3.9.3. Биогумус как удобрение	675
7.4.	Современные удобрительные смеси	677

7.4.1. Минеральные удобрения	678
7.4.2. Мелиоранты и ландшафтные материалы фирмы ФАСКО (Котляров Н.С., Онищенко Л.М.)	697
7.4.3. Органо-минеральные удобрения	698
7.4.4. Гуминовые удобрения и гуминовые препараты	700
7.4.5. Биоудобрения	704
7.4.6. Почвенные грунты и сорбенты (Котляров Н.С.)	705
8. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ (Куркаев В.Т.)	710
8.1. Известкование почв	710
8.2. Гипсование почв	714
9. ФИЗИОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ (Шеуджен А.Х.)	716
9.1. Цеолиты, бактериальные препараты и регуляторы роста растений ...	716
9.1.1. Цеолиты	717
9.1.2. Бактериальные препараты	720
9.1.3. Регуляторы роста растений	724
9.2. Дефолиация, десикация и сеникация	742
9.2.1. Дефолиация	742
9.2.2. Десикация	745
9.2.3. Сеникация	749
9.3. Ингибиторы нитрификации	750
10. ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В УДОБРЕНИЯХ (Куркаев В.Т.)	754
10.1. Понятие о потребности в удобрениях	754
10.2. Растительная диагностика	755
10.3. Почвенная диагностика	758
10.4. Определение норм удобрений	759
10.4.1. Определение норм минеральных удобрений на основе пря- мого использования результатов полевых опытов и агрохи- мических картограмм	760
10.4.2. Расчетные методы определения норм минеральных удобре- ний (Шеуджен А.Х.)	760
11. СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ	766
11.1. Агрохимические и физиолого-экологические основы системы удобрения (Куркаев В.Т.)	767
11.2. Составные части системы удобрения (Куркаев В.Т.)	770
11.3. Система удобрения в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации (Куркаев В.Т.)	774
11.4. Особенности системы удобрения на Северном Кавказе (Куркаев В.Т.) ..	776
11.5. Удобрение культур и системы удобрения	778
11.5.1. Питание и удобрение зерновых, зернобобовых и техниче- ских культур (Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С., Онищенко Л.М.)	778
11.5.1.1. Зерновые	778
11.5.1.2. Зернобобовые	789
11.5.1.3. Технические культуры	791
11.5.1.4. Система удобрения в полевом севообороте (Куркаев В.Т.)	803
11.5.2. Питание и система удобрения риса (Шеуджен А.Х.)	805
11.5.3. Питание и удобрение прядильных культур (Куркаев В.Т.)	809
11.5.4. Питание и удобрение кормовых культур (Куркаев В.Т.)	812
11.5.4.1. Удобрение кормовых культур в полевых севооборотах	812
11.5.4.2. Удобрение кормовых культур в кормовых севооборотах .	814
11.5.5. Удобрение сенокосов и пастбищ (Шеуджен А.Х., Курка- ев В.Т., Котляров Н.С., Онищенко Л.М.)	815
11.5.6. Питание и удобрение овощных культур и картофеля	823

(Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С., Онищенко Л.М.)	
11.5.6.1. Системы удобрения в овощных севооборотах (Куркаев В.Т.)	852
11.5.6.2. Особенности удобрения овощных культур при выращивании на семена и в защищенном грунте (Куркаев В.Т.) ..	855
11.5.7. Удобрение виноградников плодовых и ягодных культур (Куркаев В.Т.)	856
11.5.7.1. Плодовые культуры	856
11.5.7.2. Субтропические культуры	858
11.5.7.3. Виноградники	862
11.5.7.4. Ягодники	866
11.5.8. Особенности применения удобрений на приусадебных участках (Куркаев В.Т.)	867
11.5.9. Система применения удобрений на лесных объектах (Шеуджен А.Х.)	868
11.5.9.1. Применение удобрений в лесных питомниках	868
11.5.9.2. Применение удобрений в лесных культурах, на лесосеменных плантациях и постоянных лесных участках	870
11.5.10. Питание и удобрение цветочных культур (Шеуджен А.Х.) ..	870
11.5.10.1. Подготовка почвы для посадки цветочных культур	871
11.5.10.2. Удобрение цветочных культур	874
11.5.11. Удобрение водоемов и рисовых оросительных систем для выращивания рыбы (Шеуджен А.Х.)	903
11.6. Технология применения удобрений и химических мелиорантов (Куркаев В.Т.)	905
11.6.1. Технология применения твердых минеральных удобрений, известкования и гипсования почв	905
11.6.2. Технология применения жидких минеральных удобрений	907
11.6.3. Технология применения органических удобрений	908
11.6.4. Технология применения удобрений с поливной водой (Шеуджен А.Х.)	908
11.6.5. Техника безопасности и производственная санитария при работе с удобрениями	910
11.7. Экономическая эффективность и энергетическая оценка применения удобрений (Бондарева Т.Н.)	911
11.7.1. Экономическая эффективность применения удобрений	911
11.7.2. Энергетическая оценка применения удобрений	914
12. МЕТОДЫ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ (Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н.) .	922
12.1. Уровни и виды исследований	922
12.2. Методы исследований	923
12.2.1. Лабораторный эксперимент	927
12.2.2. Вегетационный опыт	928
12.2.2.1. Почвенные культуры	929
12.2.2.2. Песчаные культуры	936
12.2.2.3. Водные культуры	942
12.2.2.4. Метод текучих растворов	947
12.2.2.5. Метод изолированного питания	948
12.2.2.6. Метод стерильных культур	951
12.2.3. Вегетационно-микрополевой опыт	953
12.2.4. Лизиметрические исследования	955
12.2.5. Гидропоника, аэропоника, агрегатопоника, плаstopоника	960

12.2.6. Полевой опыт	962
12.2.6.1. Требования к полевому опыту	965
12.2.6.2. Методика и техника проведения полевого опыта	969
12.3. Агрохимическое обследование почв и составление картограмм (Куркаев В.Т.)	1008
12.4. Статистический анализ результатов агрохимических исследований (Дзюба В.А.)	1010
12.4.1. Среднее арифметическое значение	1010
12.4.2. Ошибка средней арифметической	1010
12.4.3. Коэффициент вариации	1011
12.4.4. Среднее квадратичное отклонение	1011
12.4.5. Ошибка опыта	1011
12.4.6. Критерий t Стьюдента	1012
12.4.7. Дисперсионный анализ	1013
12.4.7.1. Типы полевых многофакторных опытов	1014
12.4.7.2. Дисперсионный анализ данных однофакторного опыта.	1014
12.4.7.3. Дисперсионный анализ данных двухфакторного опыта.	1016
12.4.7.4. Дисперсионный анализ данных трехфакторного опыта	1019
12.4.8. Корреляция и регрессия	1025
12.4.8.1. Прямолинейная корреляция	1026
12.4.8.2. Множественная регрессия	1030
12.4.9. Отзывчивость сортов сельскохозяйственных культур на удобрения	1032
13. УДОБРЕНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ (Шеуджен А.Х.)	1034
13.1. Азот и окружающая среда	1036
13.2. Фосфор и окружающая среда	1041
13.3. Калий и окружающая среда	1042
13.4. Органические удобрения и окружающая среда	1043
13.5. Микроэлементы и окружающая среда	1044
13.6. Пути предотвращения отрицательного воздействия удобрений на окружающую среду	1047
14. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АГРОХИМИЯ (Шеуджен А.Х.)	1050
ЛИТЕРАТУРА	1055
Приложения:	
1. Требования к профессиональной подготовке специалиста и вопросы для самоконтроля (Куркаев В.Т.)	1056
1.1. Направление подготовки "Агрохимия и агропочвоведение"	1056
1.2. Направление подготовки "Агрономия"	1061
2. Значения критерия t на 5, 1 и 0,1%-ном уровне значимости	1065
3. Необходимые значения коэффициента корреляции при различных уровнях значимости P и разном числе степеней свободы df ($df = n-2$)	1066

Асхад Хазретович Шеуджен
Виктор Тимофеевич Куркаев
Николай Семенович Котляров

АГРОХИМИЯ

2-2 издание
переработанное и дополненное

Под редакцией
заслуженного деятеля науки РФ,
профессора
А.Х. Шеуджена

Подписано в печать 1.03.2006 г. Бумага офсетная. Формат бумаги 84×108/32. Способ печати офсетный. Усл. печ. л.94,15. Заказ №-025. Тираж 1000.
Отпечатано с готовых диапозитивов в Государственном унитарном предприятии Республики Адыгея "Республиканское издательско-полиграфическое предприятие "Адыгея" Комитета по делам печати и средств массовых коммуникаций РА. г. Майкоп, ул. Пионерская, 268.