

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний технічний університет

Назимко В.В., Костенко В.К., Назимко О.І., Колеснікова В.В.

ГРУНТОЗНАВСТВО

Навчальний посібник
для студентів екологічних спеціальностей

Донецьк 2008

Назимко В.В., Костенко В.К., Назимко О.І., Колеснікова В.В.
Ґрунтознавство. Навчальний посібник для студентів екологічних спеціальностей,
Донецьк, 2008. - ...с.

ЗМІСТ

ВВЕДЕННЯ

1. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ҐРУНТ.....	
1.1. Педосфера.....	
1.2. Основні компоненти педосфери.....	
1.3. Приклади формування ґрунтового шару.....	
1.4. Ґрунт як відкрита термодинамічна система.....	
1.5. Підсумки розділу.....	
Питання для самоперевірки.....	
2. ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ ҐРУНТУ.....	
2.1. Введення.....	
2.2 Структура і динаміка екосистем.....	
2.3. Ґрунт як середовище, в якому вирощуються рослини.....	
2.4. Підтримка водного балансу на Землі.....	
2.5. Утилізація відходів в ґрунтовому шарі.....	
2.6. Ґрунт як місце мешкання живих організмів.....	
2.7. Роль ґрунту в підтримці якості повітря і води.....	
2.8. Ґрунт як основа людської інфраструктури.....	
2.9. Охорона рослин.....	
2.10. Пестициди і екосистеми.....	
2.11 Підсумки розділу.....	
Питання для самоперевірки.....	
3. ВЛАСТИВОСТІ І СТРУКТУРА ҐРУНТУ.....	
3.1. Введення.....	
3.2. Структура ґрунту.....	
3.3. Густинні і фізико-механічні властивості ґрунту.....	
3.4. Теплові властивості ґрунту.....	
3.5. Забарвлення ґрунтів.....	

3.6.	Деформаційні і реологічні властивості ґрунтів.....
3.7.	Радіоактивність ґрунтів.....
3.8.	Підсумки розділу.....
	Питання для самоперевірки.....
4.	ҐРУНТОУТВОРЕННЯ І МІНЕРАЛОГІЯ ҐРУНТІВ.....
4.1.	Введення.....
4.2.	Основи геологічної стадії процесу ґрунтоутворення.....
4.3.	Розвиток ґрунтових горизонтів.....
4.4.	Опис горизонтів (таксономія).....
4.5.	Глиноутворюючі мінерали і їх кристалографія.....
4.6.	Підсумки розділу.....
	Питання для самоперевірки.....
5.	КЛАСИФІКАЦІЯ ҐРУНТІВ.....
5.1.	Введення.....
5.2.	Головні типи ґрунтів України.....
5.3.	Ґрунтовий покрив України і його використання.....
5.4.	Ґрунти світу.....
5.5.	Підсумки розділу.....
	Питання для самоперевірки.....
6.	ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЯКІ ПРОТІКАЮТЬ В ҐРУНТІ.....
6.1.	Введення.....
6.2.	Показник кислотності ґрунтів.....
6.3.	Хімічні реакції і живлення рослин.....
6.4.	Буферна ємність ґрунтів.....
6.5.	Підсумки розділу.....
	Питання для самоперевірки.....
7.	ВОДА В ҐРУНТІ.....
7.1.	Введення.....

7.2. Ґрунт і вода.....	
7.3. Фізичні і хімічні властивості води.....	
7.4. Фізика взаємодії води з поверхнею мінеральної і колоїдної складових ґрунтів.....	
7.5. Види ґрунтової вологи.....	
7.6. Водні властивості ґрунтів і ґрунтово-гідрологічні константи..	
7.7. Водний режим ґрунтів і його типи.....	
7.8. Підсумки розділу.....	
Питання для самоперевірки.....	
8. ҐРУНТОВЕ ПОВІТРЯ.....	
8.1. Введення.....	
8.2. Атмосфера ґрунту.....	
8.3. Транспорт газів.....	
8.4. Проникність ґрунтів для повітря.....	
8.5. Повітряний режим ґрунтів.....	
8.6. Підсумки розділу.....	
Питання для самоперевірки.....	
9. ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА ҐРУНТУ.....	
9.1. Введення.....	
9.2. Глобальний цикл вуглецю.....	
9.3. Декомпозиція органічних залишків в ґрунті і утворення гумусу.....	
9.4. Гумус і поглинальна здатність ґрунтів.....	
9.5. Органіка ґрунту і ґрунтоутворення.....	
9.6. Підсумки розділу.....	
Питання для самоперевірки.....	
10. КРУГОВОРТ ЖИВИЛЬНИХ РЕЧОВИН.....	
10.1. Введення.....	

10.2. Азот і круговорот азоту.....	
10.3. Круговорот фосфору.....	
10.4. Дія людини на круговорот живильних елементів.....	
10.5. Ґрунт і землеробство.....	
10.6. Дослідження живлення рослин.....	
10.7. Підсумки розділу.....	
Питання для самоперевірки.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	

ВВЕДЕННЯ

В останньому сторіччі відбувся бурхливий розвиток наук про Землю як єдиний комплексний об'єкт. Цей об'єкт характеризується складними взаємодіями між атмосферою, гідросферою, біосферою, кріосферою, педосферою, твердою земною корою, її рідким ядром і навколишнім космічним простором, де існують планети, Сонце і інші космічні тіла. Могутнім чинником, що впливає на вказані об'єкти, є людська діяльність, яка за останні десятиліття надала істотних змін в навколишньому середовищі.

Успіхи наук про Землю дозволили зрозуміти складний механізм підтримки динамічного балансу енергії в ланцюжку взаємодіючих систем, що самоорганізуються, встановити важливу роль озону для зберігання клітинок вищих рослин і регулюючої активності біоти в педосфері. Крім того, показаний механізм циркуляції води в глобальному і локальних гідрогеологічних циклах, причому останній істотно залежить від властивостей ґрунту і місцевого рельєфу. В ході досліджень встановлено, що біосфера або маса живих організмів, які населяють землю, океани і повітряний простір є продуктом енергетичної взаємодії і обміну між атмосферою, гідросферою, літосферою і педосферою.

Встановлено, що в глобальному відношенні цикл вуглецю є ключовим елементом в кліматі Землі. Цикл вуглецю взаємозв'язаний з гідрогеологічним і енергетичним циклами та визначає клімат планети. Цикл вуглецю взаємозв'язаний з кругообігом таких елементів як азот, фосфор, сірка і важкі метали. Дослідження дозволили зробити висновок про те, що педосфера підтримує життя в наземних системах і істотно впливає на обмін елементами і енергетичні потоки в межах всієї Землі. Встановлені властивості ґрунтів і показано як ґрунт бере участь у формуванні екосистеми і як він пов'язаний з біосферою.

Людська діяльність як правило на порядки швидше руйнує ґрунти в порівнянні з природними періодами їх відновлення, що приводить до деградації ґрунтів. В багатьох публікаціях показано, як економіка пов'язана із зміною навколишнього середовища на глобальному, регіональному і локальному рівні, а

також доведено, що політика управління навколишнім середовищем повинна враховувати співвідношення між природними ресурсами, які можуть відновлюватися (грунт, повітря, вода, мікроби, рослини і тварини), і не відновлюваними (нафта, природний газ, вугілля і т.п.).

В ході вимірювань встановлена роль льодовикових шапок планети у формуванні ґрунту і клімату, розроблені сучасні методи моніторингу стану систем, що складають Землю. До таких методів відносяться радари, спектроскопія, космічна і аерофотограмметрія. Ці сучасні методи дозволяють здійснювати безконтактний контроль і аналіз енергії, яка поглинається і відображається Землею, контролювати забруднення ґрунту і підземних вод і т. і. Встановлений складний і неоднозначний зв'язок між динамікою зростання населення планети і станом навколишнього середовища, показано, як зміна клімату впливає на стан здоров'я людей.

Основи ґрунтознавства були закладені вітчизняними ученими і перш за все В.В.Докучаєвим, який довгий час працював на Україні. Вчений - геолог за фахом - перший зрозумів, що ґрунт є самостійним природним тілом, яке має рослинно-наземне походження, а ґрунтоутворювальний процес базується на взаємодії чотирьох фаз: повітряної, водної, мінеральної і біологічної. Учений створив вперше в світі школу ґрунтознавців, яка мала вплив на весь подальший розвиток ґрунтознавства в світі. Такі учні і послідовники В.В. Докучаєва як Н.Н.Сибірцев, П.А.Костичев, П.С. Коссовіч, зробили внесок у розвиток науки, написали перші підручники по ґрунтознавству, досліджували фізичні властивості ґрунтів. Академік В.І. Вернадський розвинув вчення про ґрунт як складову частину біосфери, а К.К. Гедройц дав глибокий аналіз колоїдних властивостей ґрунтів. Зусиллями послідовників теорій В.В. Докучаєва і В.І. Вернадського створені основи раціонального використання ґрунтів, їх картування, розроблені екологічні принципи охорони навколишнього середовища, в яких ґрунт є одним з вирішальних елементів стабільності. Великий внесок в ґрунтознавство внесли такі зарубіжні учені як Е.М. Бріджес, що дав докладний опис ґрунтів світу, С.В.

Буйоль, який розвинув знання про процес ґрунтоутворення, А. Леопольд, що заклав сучасні погляди на ґрунтознавство з урахуванням впливу людини на навколишнє середовище, Е.Д. Шульце, що дав глибокий аналіз екосистем з урахуванням ґрунту як одного з основних чинників її стабільності і стійкості.

Великий внесок у розвиток ґрунтознавства внесли учені України, такі як А.Н. Соколовській, Н.Б. Вернандер, В.И. Канівець, І.І. Назаренко та інші. Вітчизняні фахівці поглибили знання про процеси ґрунтоутворення, уточнили роль окремих макро- і мікроелементів, удосконалили таксономію ґрунтів.

Ґрунтознавство нерозривно пов'язане з екологією, біологією, кліматологією, геологією, фізико-хімією та агрономічними науками. Так доведено, що ґрунт виконує найважливішу екологічну функцію розкладання і утилізації органічних залишків, які щорічно накопичуються в ній. Механізм переробки цих відходів неможливо зрозуміти без глибоких знань біології і фізико-хімії. Розкладання органічних залишків здійснюється мікроорганізмами і в першу чергу бактеріями і грибами, які виділяють спеціальні ферменти і виконують хімічне перетворення органічних залишків в декілька стадій при низьких температурах, що на порядки ефективніше за промислові технології переробки нафти, виробництва пластмас і т. п. Стабільність ґрунтів або їх буферні можливості істотно залежать від гумусу, колоїдної речовини, властивості якого досліджує фізико-хімія. Колоїди утворюються перш за все з вторинних мінералів, які накопичувалися на поверхні землі в ході різноманітних геологічних процесів. Без перебільшення можна стверджувати, що ґрунтознавство є комплексною наукою, яка вивчає вельми складний природний об'єкт, що знаходиться в нерівноважному термодинамічному стані. Вивчення і моніторинг ґрунтів базується на сучасних фізичних методах екологічного моніторингу, таких як лазерне сканування земної поверхні, радарні методи аналізу поверхонь, аеро- і космічна фотограмметрія. Широко також використовуються традиційні методи фізичного, хімічного і біологічного аналізів речовин, хроматографія, спектрометрія і т.п.

Педосфера є областю, в межах котрої відбувається складна взаємодія атмосфери, літосфери, гідросфери і біосфери в земних екосистемах. Знання про ґрунти необхідно для розуміння динаміки екосистем.

1. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ҐРУНТ

1.1. Педосфера

Визначення

Атмосферою є повітряний простір, що оточує Землю. Точної верхньої межі атмосфера не має, але для наближених оцінок вважається, що вона практично зникає на висоті 200 км.

Біосферою називається частина середовища, що оточує Землю, в якій знайдені живі організми і які, маючи взаємодію між собою, продукують стійку систему, здібну до самовідтворювання.

Гідросфера складається з води, прилеглої до поверхні Землі.

Літосфера є верхнім шаром твердої гірської породи (включаючи дно океанів).

Педосферой є оболонка поверхні Землі, в якій утворилися ґрунти і де процес формування ґрунту знаходиться в активній стадії.

Рельєфом називається сукупність природних об'єктів таких як поля, рівнини, горби, ліси і водоймища, по вигляду яких ми можемо відрізнити одну частину суші від іншої. Як правило, це характерна ділянка земної території, яка має загальні характеристики.

Ґрунтом є відкрита термодинамічна система у вигляді неконсолідованого родючого матеріалу, що природно виник під дією клімату, мікроорганізмів і рельєфу на поверхні Землі за певний період часу з материнської гірської породи. Цей матеріал складається з чотирьох фаз: мінеральної, органічної, водної і повітряної.

Ґрунтовий педон або **індивідуум** є якнайменшим об'ємом ґрунту, який ще можна назвати ґрунтом. За формою педон можна представити у вигляді тривимірної призми з підставою у вигляді правильного шестигранника площею від 1 до 10 м² висотою від декількох сантиметрів до десятків метрів. Верхня підстава педона співпадає із земною поверхнею, а нижня знаходиться на

горизонті материнської породи або гірської породи, яку вже не можна назвати ґрунтом.

Материнська порода, з якої утворюється ґрунт, є зруйнованою виветрелою породою, з якої утворився ґрунт в результаті протікання педогенних (ґрунтоутворювальних) процесів.

Ентропією є функція стану системи, залежна від термодинамічних параметрів, наприклад від температури, тиску, ступеня впорядкованості структурних елементів системи.

1.2. Основні компоненти педосфери

Педосфера утворюється тільки за умови динамічної взаємодії між атмосферою, літосферою, гідросферою і біосферою а також енергетичному обміні, що протікає в нерівноважному термодинамічному стані (рис. 1.1).

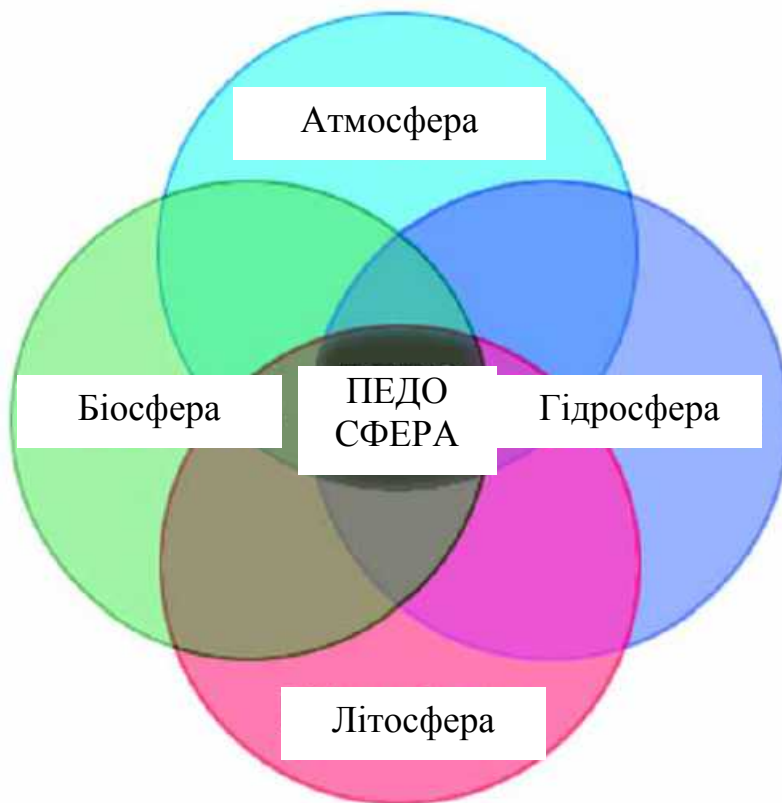


Рис. 1.1. Взаємодія фаз ґрунту

Утворення, накопичення ґрунту і поліпшення його властивостей супроводжується зменшенням або хоча б незмінністю ентропії ґрунту, яку можна записати в вигляді виразу.

$$\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e \leq 0 \quad (1.1)$$

де ΔS – зміна ентропії в процесі педогенезу або деградації;

ΔS_i – приріст ентропії, обумовлений протіканням внутрішніх процесів в ґрунті (наприклад окисненням, розкладанням органічних залишків, накопиченням гумусу і т.п.);

ΔS_e – частка приросту ентропії, яка викликана зовнішніми джерелами (сонячним нагріванням, насиченням киснем, мікроелементами і т.п.).

При деградації ґрунтового шару відбувається збільшення ентропії.

$$\Delta S_i \geq 0 \quad (1.2)$$

Внутрішній і зовнішній компоненти ентропії ґрунтового шару є складними функціями фізичних, хімічних, геологічних і біохімічних параметрів, що характеризують поточний стан ґрунту. Наприклад ентропія ґрунту має екстремальну залежність від його гранулометричного складу, температури або від вогкості як показано на рис. 1.2. Чим менше ентропія ґрунту, тим краще його екологічні і агрономічні властивості. Видно, що оптимальні властивості ґрунту, що має різний гранулометричний склад досягаються при різній вогкості.

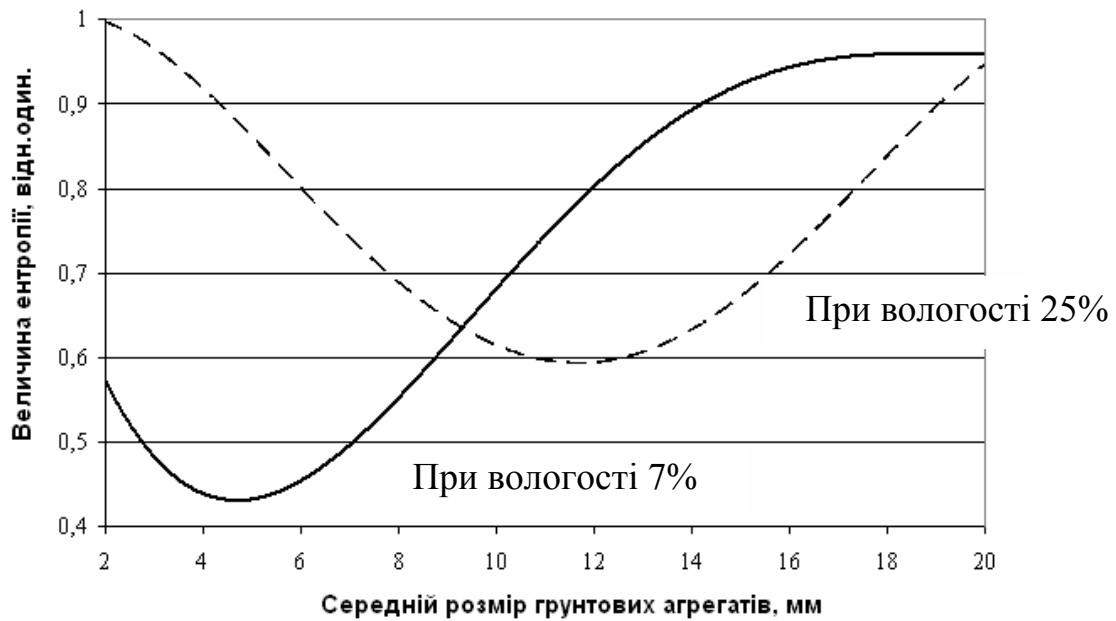


Рис. 1.2. Залежність ентропії ґрунту від середнього розміру агрегатів.

На рис. 1.3,а схематично показаний ґрунтовий педон, який складається з чотирьох фаз або компонент: ґрунтового повітря, ґрунтової води, мінералів, що утворилися з материнської породи, і органічної речовини. Саме ці компоненти в кількісному відношенні відображають частку участі в ґрунтовому складі атмосфери, гідросфери, літосфери і біосфери (рис. 1.3, б). Орієнтовно ґрунтового повітря і ґрунтова вода складають приблизно половину об'єму педону. Органічні речовини, що складаються з живих організмів і продуктів їх життєдіяльності, займають приблизно 5%, а решту об'єму займають мінерали. У практичних цілях користуються вертикальними розрізами ґрунту або як говорять фахівці профілями.

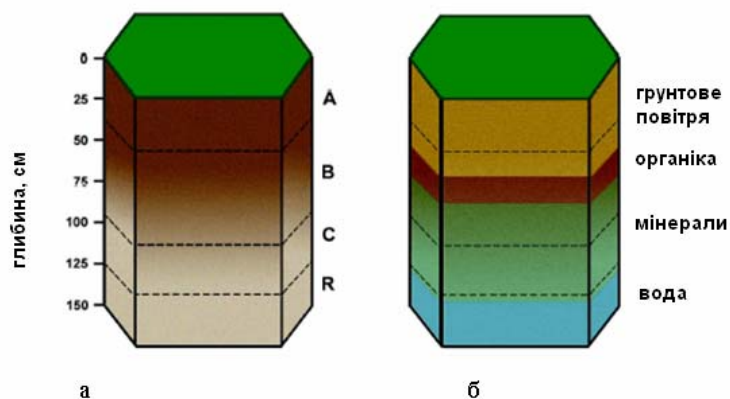


Рис. 1.3. Будова ґрунтового педону

На рис 1.4 приведений типовий ґрунтовий профіль півдня України (Донецька область).



Рис. 1.4. Типовий профіль ґрунту юго-сходу України

Верхній шар представлений дерниною, потім спостерігається найбагатший гумусом горизонт, помітний по темному забарвленню. Цей горизонт має максимальний степінь родючості і є найбільш цінною компонентою профілю. Нижче кількість гумусу зменшується, внаслідок чого у міру збільшення глибини відбувається перехід до материнської породи, в даному випадку представленої глинистим ґрунтом. Лише нечисленне коріння рослин доходить до глибини 1,2-1,5м, проникаючи в горизонт материнської породи, що свідчить про безперервний процес ґрунтоутворення, внаслідок чого рослини і мікроорганізми перетворюють мертву породу і додають їй властивості родючості.

На рис. 1.5 показане співвідношення між складовими ґрунтового рельєфу. Ґрунтові агрегати, які можна побачити в мікроскоп (склеєні між собою мінеральні частинки, частинки гумусу, дрібні організми і т.д.) складають педон. З цих агрегатів складається ґрунтовий поліпедон, який має приблизно однакові властивості і параметри, що відображають його індивідуальність. Тепер зрозуміло, чому підставу ґрунтового педона приймають у вигляді шестигранної призми, оскільки така форма максимально наближена до кола і дозволяє зручно скласти з педонів поліпедон довільної форми. По суті педон представляє стовпчик ґрунту, в думках вирізаний з конкретної ділянки родючої землі. Тому іншими словами поліпедоном можна назвати латку або ділянку землі з індивідуальними властивостями і параметрами. Ґрунтовий рельєф складається з таких поліпедонів, як показано на рис. 1.5.

В результаті сумісного впливу сільськогосподарської діяльності людини, рельєфу, клімату і, в першу чергу, дощових потоків і потоків талих вод на чорноземній ділянці ґрунту можуть утворюватися окремі поліпедони, які можна бачити по жовтому кольору плям землі після ерозії (змивання) і перенесення верхнього родючого шару ґрунту. Таким чином буквально на ділянці розміром в десятки метрів можна виділити декілька поліпедонів, характерні педони яких істотно відрізняються у верхньому горизонті. Це говорить про істотну роль рельєфу у формуванні ґрунту.

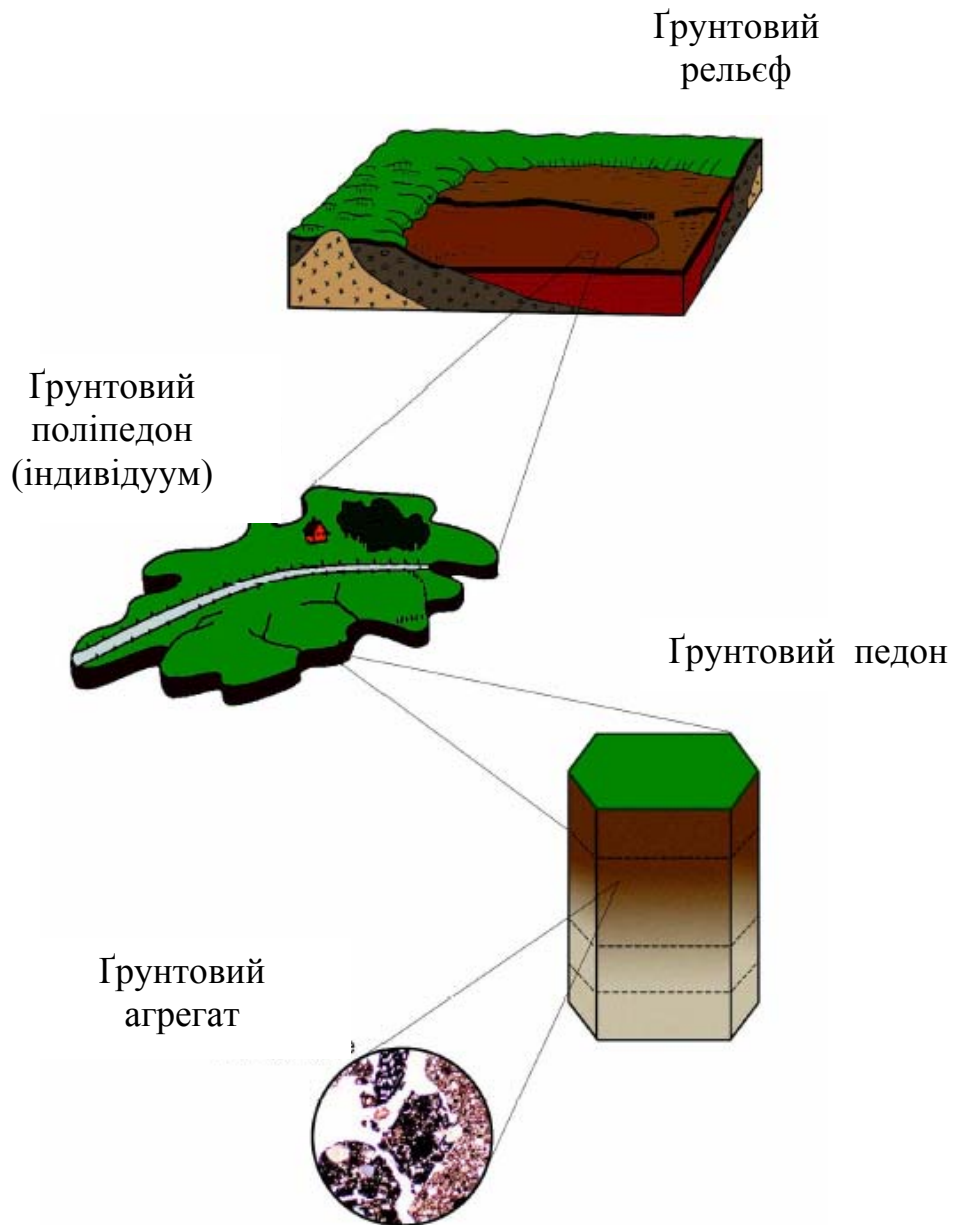


Рис. 1.5. Ієрархія структурних елементів рельєфу

Грунтові частинки розділені порами, тріщинами і укладені в шари, які називаються ґрунтовими горизонтами. Саме за зовнішнім виглядом цих горизонтів, їх потужності і порядку залягання ґрунтознавці класифікують ґрунти.

Під дією фізичних, хімічних процесів в результаті коливань клімату, названих вивітрюванням, масивні тверді гірські породи руйнуються по поверхнях

ослаблення (граням зерен кристалів магматичних порід, наприклад), внаслідок чого утворюється менш консолидовані зруйновані породи, звані реголітом. Реголіт утворюється в межах верхнього горизонту материнських порід, з яких він формується. Саме з реголіту надалі утворюється за певних умов педосфера. Далеко не завжди реголіт лежить на тій материнській породі, з якої він виник. Часто реголіт переноситься льодовиками, водними потоками і вітрами на величезні відстані, внаслідок чого мінеральна частина ґрунту не має нічого спільного з тією материнською породою, на якій вона покоїться в даний момент.

Згідно міжнародної класифікації ґрунти розділяють умовно на шари з характерною морфологією (зовнішнім виглядом і складом), які називають горизонтами. Так в напрямі від денної поверхні вниз розрізняють горизонти А, В і С (рис. 1.3, а). Підстеляючі гірські породи іменують горизонтом R. Головні поверхневі горизонти, що складаються з органічних залишків іменують латинськими буквами L, F і H, які складаються головним чином з опалого листя, гілочок і інших залишків вищих рослин, що розклалися. Шар болотяної відмерлої рослинності іменують буквою O. Підгоризонти позначають шляхом додавання нижніх індексів до основних букв.

Якнайкращі властивості ґрунту формуються в чотирьохфазній педосфері, коли вона складається з повітряної, водної, мінеральної і біофази. Проте в природі часто зустрічаються трьох- і навіть двофазні педони. Матсон схемно характеризує всі можливі комбінації фаз таким чином, який зображений на рис. 1.6.

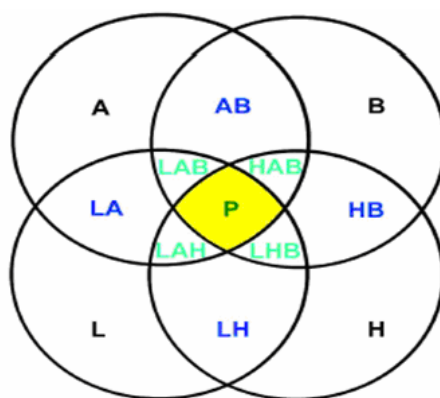


Рис. 1.6. Взаємодія фаз ґрунту

Латинські букви A, B, L, H позначають атмосферу, біосферу, літосферу і гідросферу відповідно. Наприклад, можливі комбінації літосфери і атмосфери, яка зустрічається в піщаних або кам'янистих пустелях. І проте при попаданні води в такому педоні виникає періодично рослинність, яка приводить при певних обставинах до накопичення біомаси, внаслідок чого такий педон може перетворитися на повноцінний ґрунт, подальша придатність якого до землеробства визначається тільки економічними міркуваннями. Інший приклад педону, що іноді зустрічається, є комбінація літосфери, атмосфери і гідросфери. Це приводить до зникнення живих організмів через високу концентрацію солі або присутність токсичних елементів. Характерним випадком, де можна знайти такий педон, є відстійник промислових відходів. На дні озера або в заплаві річки можна знайти трифазний педон, що складається з насиченого водою ґрунту, в якому водяться живі організми. Після осушення такі педони відрізняються високою родючістю, що використовувалося стародавніми цивілізаціями для вирощування зернових культур.

1.4. Приклади формування ґрунтового шару

Ґрунти в природних умовах формуються протягом сотень років а то і сотень тисячоліть. У кожних конкретних умовах ґрунт виник як історичне природне тіло за певний період, який визначався певними умовами. Проте можна сказати, що за інших рівних умов ґрунти в теплому вологому тропічному кліматі утворюються набагато швидше ніж в суворих для живих організмів і рослин високогірних умовах Анд або Гімалаїв. Нижче наводяться декілька прикладів формування або деградації ґрунту в короткий період, вимірюваний декількома роками.

При відступі річки або замуленні озера на території, що оголіла від води, можна зразу ж вирощувати зернові та інші рослини. Так трифазна система педонів перетворюється на чотирьохфазну.

Як вказує Джума, в посушливих областях Пакистану старі русла висохлих річок, заповнені піском і гравієм, переводять в стан, придатний для ведення

сілського господарства шляхом утворення терас, на яких здійснюють іригацію, зобрюючи тераси гноєм і засіваючи їх бобами, наприклад альфальфой. За допомогою цього прийому двофазний матеріал, що складається з мінералів і повітря, перетворюється за п'ять-сім років в родючий ґрунт, який збагачується живильними речовинами і гумусом, що утворилися із розкладених залишків альфальфи.

Як відходи гірничого виробництва солевміщуючі порожні породи складують на відвалах, котрі поступово перетворюються на придатні для землеробства території за рахунок вимивання солей дощами і їх вилуговування.

Забруднення родючого ґрунту нафтовими продуктами гідрофобізує частинки ґрунту, роблячи їх незмочуваними для води. В результаті ґрунт втрачає здатність накопичувати дощову воду і можливість підживляти нею рослини. Так чотирьохфазна система перетворюється на трифазну а потім двофазну, втрачаючи біосферу і можливість забезпечувати родючість. Слід зазначити, що забруднення ґрунту нафтопродуктами є одним з найважчих видів екологічної катастрофи.

1.5. Ґрунт як відкрита термодинамічна система

Визначення

Біологічні цикли це циркуляція (кругообіг) матеріалу ґрунту у вигляді мікроорганізмів, рослин і тварин. Під циркуляцією розуміється циклічна зміна поколінь.

Інсоляцією називається кількість сонячної радіації, що поглинається одиницею площі або об'єму земної поверхні. Вона варіюється залежно від сезону, широти, прозорості атмосфери і кута нахилу ґрунтового рельєфу до напрямку сонячного проміння.

Віддзеркалення це випромінювання частини поглиненої енергії

Опадонакопичення це накопичення води у вигляді падаючого граду, дощу, снігу або з туману.

Випаровування є процесом втрати вологи з даної площі земної поверхні у вигляді випаровування з ґрунту і поверхні частин рослин.

Ерозія ґрунту відбувається у вигляді віднесення землі з її поверхні дощовою водою, вітром, льодом або іншими геологічними процесами (наприклад обвалами).

Транслокація відбувається у вигляді перенесення ґрунтового матеріалу у вигляді розчину або суспензії тонких частинок з одного горизонту на інший.

Трансформація це процес зміни форми речовини.

Конвекція відбувається у вигляді вертикальної циркуляції в рідині або розчині, яка викликана різницею густини, що виникає під дією температурного градієнта.

Теплопровідність відбувається у вигляді передачі теплової енергії від агрегату до агрегату без переміщення останніх.

Конденсація є фазовим переходом пару у воду.

Фотосинтез це процес, за допомогою якого зелені рослини перетворюють окисел вуглецю і воду в живильні речовини, використовуючи енергію сонячного випромінювання.

Ґрунт є відкритою термодинамічною системою, яка обмінюється з оточуючим середовищем потоками речовин і енергії (рис. 1.7).

У ґрунті підтримується динамічний баланс вхідних і вихідних обмінних газів (кисню, оксиду вуглецю або вуглекислого газу, пари води, метану, оксидів азоту) з атмосферою. Розчинні речовини (нітрати, розчинний вуглець у складі органіки з деяких ґрунтів) вимиваються. Фізичні, хімічні і біологічні процеси, які протікають в педосфері, (усередині ґрунту і на його поверхні) змінюють перерозподіл речовин в окремих ґрунтових горизонтах. В межах ґрунтового рельєфу речовини перерозподіляються в часі і просторі у вигляді накопичення і ерозії. Таким чином ґрунт обмінюється з навколишнім середовищем енергією і речовиною. Крім того, усередині окремих педонів протікають обмінні процеси. Всі обмінні процеси періодично міняють свою інтенсивність і навіть

спрямованість протягом доби, сезонів і років. Це пов'язано із зміною енергії сонячного проміння, погоди, клімату. Саме тому ґрунт є відкритою термодинамічною системою, що знаходиться в нерівноважному стані.

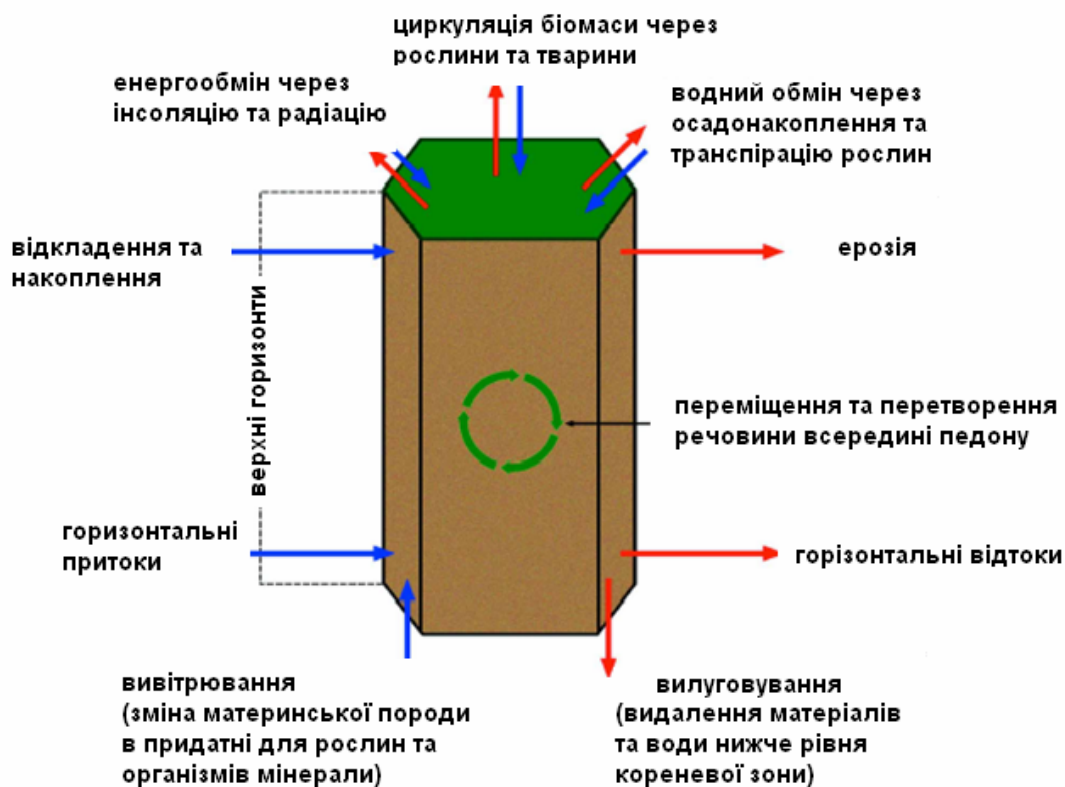


Рис. 1.7. Схема обмінних процесів у ґрунті

Всі ґрунтові процеси активізуються потоками енергії, якими ґрунт обмінюється з навколишнім середовищем (рис. 1.8). Наприклад, віднесення верхніх шарів ґрунту в результаті ерозії голих (лисих) ділянок землі і відкладення понесеного матеріалу в пониззі річок протікає під дією кінетичної енергії дощової і талої води. Температурний режим ґрунту безпосередньо визначається сонячною радіацією, що падає на земну поверхню протягом доби, тижнів, місяців і т.д. Частина сонячної енергії перетворюється на теплову енергію, яка щодоби змінює періодично температуру верхніх ґрунтових шарів. Тепловий баланс педону також визначає процес його вивітрювання (подрібнення окремих мінеральних частинок

під дією перепадів температури і вогкості), формування ґрунтових шарів і швидкість протікання біологічних процесів. Частина теплової енергії, яка випромінюється ґрунтом, перетворюється на хімічну енергію в результаті фотосинтезу і накопичується в рослинах у вигляді вуглеводів. Ці вуглеводи поступають в коріння рослин і передаються в ґрунт за допомогою різних процесів. Хімічна енергія, передана в ґрунт у вигляді з'єднань вуглецю, підтримує живильний ланцюжок в поліпедонах. Іншими словами педон можна назвати **біохімічним реактором**, в якому накопичується і виробляється енергія і органічна речовина, причому мінерали руйнуються, подрібнюються а також утворюються знову, а енергія і речовина як надходить, так і покидає педон. Саме через такі процеси існує Педосфера.

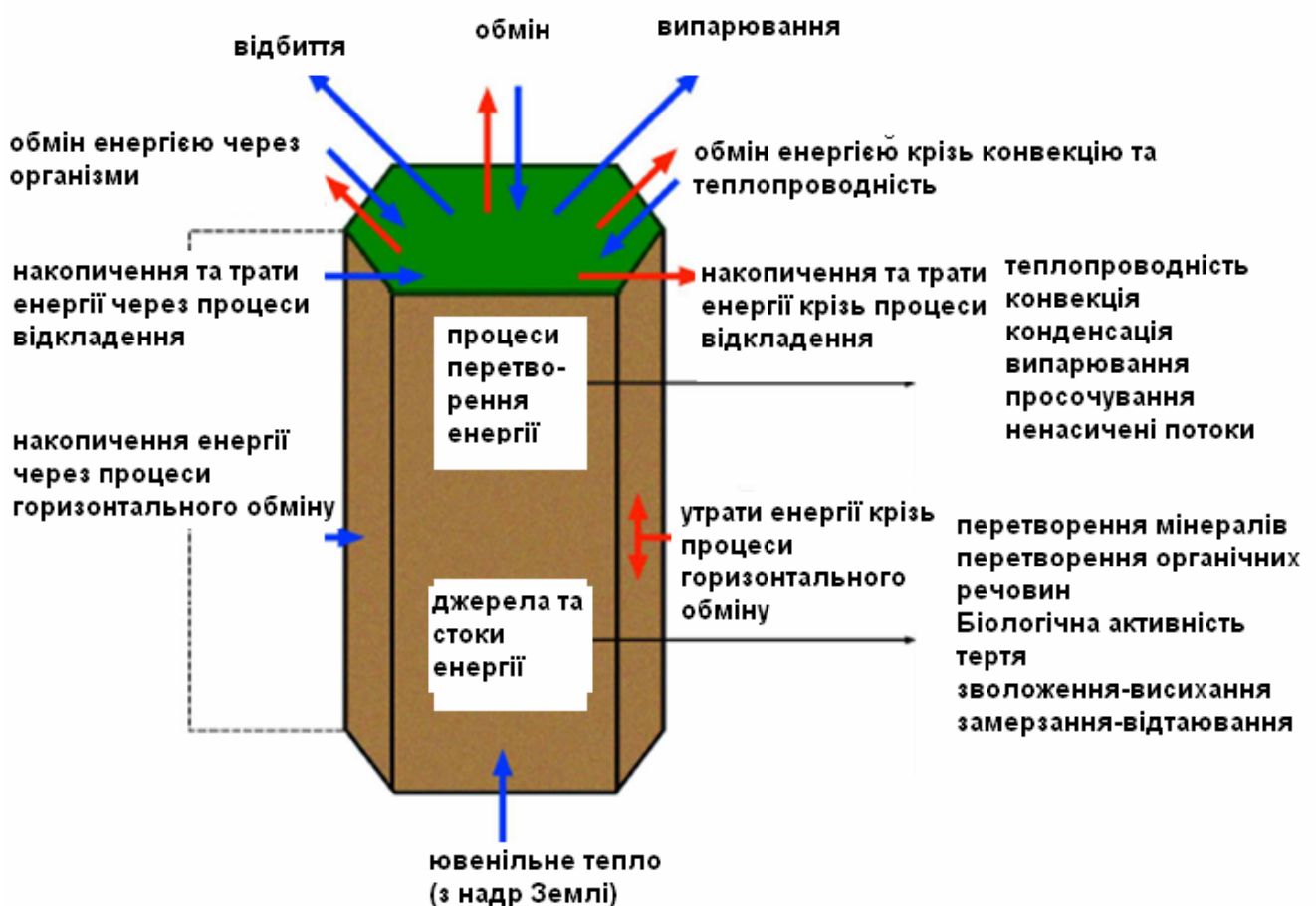


Рис. 1.8. Потіки енергії в ґрунті

Альдо Леопольд в 1966 сказав, що земля це не просто ґрунт, який можна характеризувати фізичними властивостями, це фонтан енергії, що тече через ланцюжок ґрунтів, рослин і тварин. Живильними ланцюгами є живі канали, які передають потоки енергії вгору, а відмирання і гниття повертають її назад вниз. Цей ланцюжок не є замкнутим, частина енергії розсівається в результаті процесів гниття, певна частка накопичується з повітря, деяка частина накопичується в ґрунтах і довго живучих лісових масивах.

1.6. Підсумки розділу

1. Ґрунтознавці вивчають походження родючого ґрунту, процеси його формування, фізичні, хімічні і біологічні компоненти ґрунту, його класифікацію і розподіл ґрунтів на землі.

2. Ґрунт - це продукт педосфери, яка є складовою частиною всесвіту і знаходиться в тісній взаємодії з атмосферою, гідросферою, біосферою, кріосферою, твердою земною корою (літосферою) і оточуючим Землю космічним простором в контексті глобальної зміни навколишнього середовища під впливом діяльності людини.

3. Педосфера розвивається тільки в результаті взаємодії атмосфери, гідросфери, літосфери і біосфери. Ґрунт це не проста сума мінералів, органічної речовини, води і повітря, а продукт їх активної взаємодії. Ці взаємостосунки можуть досліджуватися на різних масштабах: мікроскопічному, в межах горизонтів, педонів, рельєфу, на регіональному і глобальному рівні в масштабах всієї планети.

4. Вивітрювання масивних порід уздовж площин ослаблення через хімічні, фізичні і біологічні процеси веде до утворення рихлого реголіту. Реголіт утворюється поверх материнської масивної породи і надалі з нього утворюється родючий ґрунт.

5. Ґрунт є відкритою термодинамічною системою, природним тілом в природному рельєфі, яке знаходиться в динамічній взаємодії з навколишнім середовищем шляхом енергетичного і речовинного обміну. Ґрунти одержують і випромінюють електромагнітну енергію (у інфрачервоному діапазоні тобто тепло, видиме в процесі фотосинтезу і т.д.), а також обмінюються повітрям і водою з атмосферою, іонами і мінералами, з літосферою. Рослини засвоюють хімічно перетворений вуглець головним чином у вигляді цукрів і вуглеводів, переводячи його в ґрунт, допомагаючи накопичувати гетеротрофну масу в ґрунті. Розкладання цього субстрату приводить до виробництва енергії, яка використовується для підтримки циркуляції живильних речовин в ґрунтовій системі.

6. Ґрунтовий педон є тривимірним об'єктом у протилежність ґрунтовому профілю, який є двомірним вертикальним розрізом ґрунту. Досліджуючи ґрунтовий профіль можна знайти ґрунтові горизонти, які відображають фізичне хімічне і біологічне перетворення реголіту. Згідно міжнародної класифікації головні ґрунтові горизонти зверху вниз іменуються А, В і С горизонтами. Консолідована порода іменується R горизонтом. Ґрунтовий педон може складатися зі всіх перерахованих горизонтів або тільки з частини з них.

Питання для самоперевірки

1. Чи може ґрунт складатися з трьох, двох або однієї фази?
2. Що є первинною основою для утворення ґрунту?
3. Поясніть функціонування ґрунту як біохімічного реактора
4. Що таке ґрунтовий педон?
5. Перерахуйте основні потоки речовини і енергії, які протікають через педон.

2. ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ ҐРУНТУ

2.1. Введення

Крім перелічених вище ґрунт виконує ще й екологічні функції.

Екологія є наукою про взаємостосунки між організмами і їх навколишнім середовищем мешкання. Слово „екологія” по-грецьки означає «будинок». Ще академік В.І. Вернадський розширив поняття «будинок» до «планета Земля» і показав, що ми є частинкою Космосу і що все живе і неживе на планеті тісно взаємозв'язане. Отже в широкому розумінні екологія вивчає живе (віруси, мікроби, рослини, тваринні і людей) і неживе (фізичний навколишній простір) як єдине ціле. Слово „система” розуміє регулярну взаємодію взаємозалежних компонентів, що формують єдине ціле. Саме тому А. Одум запропонував антропоцентричне (з погляду людини) тлумачення екосистеми як частину самопідтримуючої життя системи, що складається з повітря, води, мінералів, ґрунту, рослин, тваринних і мікроорганізмів, діючих сумісно і уявляючих собою складові єдиного цілого.

Людина надає значну і все більш зростаючу дію на природно функціонуючі або регульовані екосистеми. На жаль, поки дія людини позначається в основному негативно. Один з варіантів схеми взаємодії людини з навколишнім середовищем можна представити у вигляді, зображеному на рис. 2.1.

Біологічні компоненти системи, що складаються з автотрофних і гетеротрофних організмів, є головними в структурі екосистеми і її функціонуванні. Автотрофні організми самостійно виробляють енергію для підтримки своєї життєдіяльності, а гетеротрофні потребують надходження високомолекулярних з'єднань ззовні для отримання енергії. Автотрофи, до яких відносяться рослини, виробляють наземну біомасу, використовуючи природні ресурси у вигляді ґрунту, повітря, води і сонячної енергії. Енергія і живильні речовини, накопичені в рослинах, використовуються гетеротрофними організмами. Взаємодії між організмами, що відбуваються для засвоєння і

трансформації сонячної енергії вельми складні і розрізняються в різних екосистемах. Сонячна енергія є головним і критично важливим джерелом, яке приводить в дію цикли кругообігу води, живильних речовин і елементів. Енергія сонця також відповідальна за розвиток і підтримку життєдіяльності екосистем.



Рис.2.1. Взаємодія людських сфер діяльності з системами і компоненти цієї взаємодії

Дію людини на екосистеми можна розділити на п'ять сфер діяльності. До першої сфери відноситься техніка, котра надає широкі можливості для розвитку технологій для модифікації екосистем в потрібному для людини напрямі. Наприклад, вдосконалення техніки для обробки ґрунту, посівів і збирання врожаю, генетичні технології модифікації мікроорганізмів, рослин і тварин, комп'ютерні додатки для оптимальних режимів переробки їжі і клітковини. Дія сучасної технології вельми значна, що дозволило К. Нав'є ввести новий термін

«техносфера», щоб відобразити сумарно великі промислові урбаністичні комплекси.

Друга сфера об'єднує зведення законів з охорони довкілля, які контролюють ступінь маніпуляції і збереження екосистем. Вказані закони застосовуються на місцевому, регіональному, національному і глобальному рівнях. В даний час існує декілька організацій на високому рівні, координуючих дослідження, узагальнення даних, щоб встановити тренди і тенденції в політиці по стійкому збереженню екосистем.

До третьої сфери відносяться теорії макро- і мікроекономіки, які використовувалися раніше, щоб оцінити ступінь раціональності використання природних ресурсів. В даний час розроблені нові підходи для оцінки функціонування екосистем. Ці підходи засновані на представленні екосистеми як частині єдиного цілого, тобто кожна конкретна екосистема розглядається як частина глобальної екосистеми планети. Неможливо оцінити вартість екосистеми, проте такий підхід примушує економістів переглянути межі систем, які вони вивчають. Тепер будь-які економічні дослідження певних технологій, рішень, дій повинні оцінювати їх вплив на екосистему на будь-якому рівні, включаючи глобальний. Наприклад, можна втрутитися в діяльність екосистеми на локальному рівні і одержати в результаті ефект глобальної зміни клімату, або зникнення цілого виду.

Четверта сфера або соціальна уявляє собою суспільства, які організовані в групи, починаючи від декількох людей в селищі в сільській місцевості і закінчуючи декількома тисячами жителів на квадратний кілометр у великих містах. В даний час близько половини жителів планети проживає в містах. Виробництво їжі і клітковини покладене на дуже маленький сектор суспільства. Не дивлячись на те, що розміри вказаних співтовариств різні і їх місцеположення істотно різне, існують взаємодії як усередині груп, так і між ними. Глобалізація національних економік дає можливість використовувати ресурси однієї країни жителями іншої. Наприклад, Канада є експортером зерна в багато країн

тихоокеанського регіону. Попит на це зерно і виробництво кінцевих продуктів у вигляді м'яса приводить до необхідності зміни політики використання земельних ресурсів у вказаній країні.

До п'ятої сфери відноситься здоров'я та харчування народів, від яких прямо залежить процвітання народів. Збільшення чисельності населення викликає необхідність переводити природні екосистеми в керовані екосистеми. Крім того, велика кількість родючої землі постійно поглинається під використання для будівництва міст, промислових об'єктів і транспортних комунікацій. В період з 1950 по 1996 рік питома кількість оброблюваної родючої площі на одного жителя планети зменшилася з 0,23 га до 0,12 га, тобто практично в два рази.

К. Нав'є розширив поняття екосистеми, ввівши також штучно створені рельєфи. Він сформулював нову думку про те, що рельєф включає не тільки видимі природні, але і штучні людиною створені компоненти. Отже в найширшому значенні тепер людська екосистема є просторовою інтеграцією об'єктів геосфери з біосферою і техносферою.

Сучасна людина займає подвійну позицію, одночасно обслуговуючи біосферу і геосферу і одержуючи від неї продукти. Проте продукти техносфери при цьому модифікують цю біосферу і геосферу. Тому людина не тільки впливає на вказану модифікацію, але і сама відчуває від неї вплив на собі. Саме тому слід обережно відноситися до активного елементу взаємодії (тобто впливу) людини, оскільки треба впливати так, щоб забезпечити стабільність існування екосистеми. У природних умовах дикої природи ця стабільність забезпечується автоматично за рахунок дії об'єктивних законів еволюції природного відбору, пристосовності і саморегулювання. Для того, щоб забезпечити стійке існування екосистеми, необхідно глибоко вивчити закони, які управляють взаємодією складових цієї системи. В даний час ці закони далеко не повністю досліджені і зрозумілі. Саме тому в переважному числі випадків вплив людини поки закінчується невдачами, а то і екологічними катастрофами.

Дослідники У. Волкер і Б. Стефан так підсумували вплив людини на земні екосистеми. „Прискорення змін в навколишньому середовищі обумовлене зростанням населення. Ці зміни породжені підвищенням рівня споживання ресурсів суспільством і зміною технології і соціо-політичної організації суспільства. Під терміном «глобальні зміни» розуміють чотири речі: 1 - зміна характеру використання землі і самої поверхні землі, 2 - глобальне зменшення біологічної мінливості видів, 3 - зміни у складі атмосфери, особливо збільшення вмісту CO₂, 4 - зміна клімату планети”.

Далі вивчатиметься важливість педосфери для підтримки стабільності екологічних систем і навколишнього середовища.

2.2 Структура і динаміка екосистем

В межах біосфери можна розрізнати окремі функціональні одиниці (екосистеми), де у відносинах між окремими видами, а також між організмами і неживим середовищем спостерігається динамічна рівновага або щонайменше тенденція до його встановлення. Трав'яні пасовища, прісні озера або коралові рифи є прикладами наземної, прісноводної і морської екосистем. Всі види тварин, що входять до них як гетеротрофи, живуть за рахунок органічної речовини, утвореної автотрофними рослинами.

З функціональної точки зору в кожній екосистемі присутні чотири головні компоненти: абіотичні речовини, продуценти (автотрофи), консументи (гетеротрофи) і деструктори, а також редуценти. До деструкторів відносяться організми, які споживають клітковину рослинних залишків, що зветься детритом, а також бактерії і гриби, що мінералізують органіку. Якими б різними не були набори видів і життєвих форм в окремих екосистемах, завжди у принципі можна прослідити однаковий функціональний взаємозв'язок чотирьох цих компонентів: енергія завжди переходить від вищого рівня харчування, так званого трофічного рівня (наприклад, автотрофного), до нижчого (наприклад, гетеротрофного).

Якщо виражати загальну біомасу кожного трофічного рівня в кілокалоріях на квадратний метр (тепло, що вивільняється при спалюванні всіх організмів, які складають даний рівень), то при переході від одного рівня до іншого потік енергії вимірюватиметься в кілокалоріях на квадратний метр за одиницю часу. Визначивши потоки енергії в даній екосистемі, можна бачити, що при переході від одного трофічного рівня до наступного ці потоки завжди зменшуються (рис. 2.2).

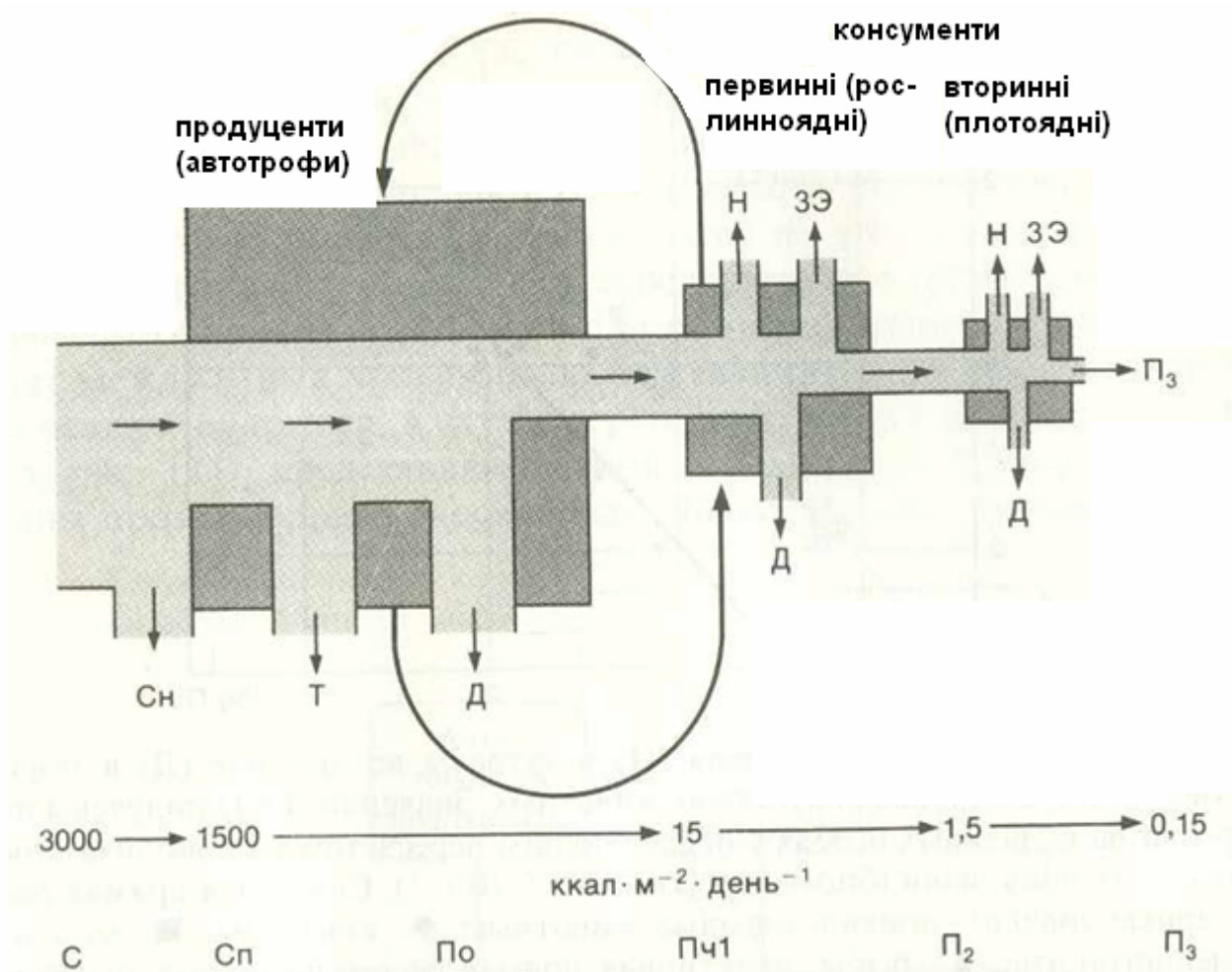


Рис. 2.2. Схема потоку енергії крізь харчові ланцюги екосистеми

Потік енергії зменшується приблизно на два порядки на першому трофічному рівні і приблизно на порядок на наступних рівнях. Стрілками вказаний напрям перенесення речовини між продуцентами і первинними консументами. Буквами позначено: Д- енерговитрати на дихання, Сп - поглинена

світлова енергія, C' - падаюча світлова енергія, C_n - не поглинена світлова енергія, H - невикористана енергія, P_o - загальна продукція, $P_{ч1}$ - чиста первинна продукція (нетто), $P_{2,3}$ - продукція рівнів консументів, ZE - запасена енергія, T - втрати енергії з теплом.

Так, 95-99% енергії сонячної радіації, яка поступає в атмосферу, безпосередньо переходить в тепло. Тільки половина променистої енергії, що залишилася, поглинається рослинами і в результаті може бути перетворена на хімічну енергію. Від цієї загальної первинної продукції автотрофів після віднімання частини енергії, що витрачається самими рослинами перш за все на дихання, залишається чиста первинна продукція, яка як запасена органічна речовина потенційно може бути використана гетеротрофними первинними консументами (рослиноїдними організмами). В кращому разі вона складає 90% загальної первинної продукції. Далі по харчовому ланцюгу, що продовжується від первинних до вторинних консументів (м'ясоїдних організмів, або хижаків), а іноді до третинних, чверткових консументів і т. д., як чиста продукція передається приблизно 40-60% загальної продукції попереднього рівня. Екологічний коефіцієнт корисної дії набагато нижчий, ніж при м'язовій роботі або функціонуванні технічних систем. Для будь-яких організмів зберігається пряма залежність між споживанням енергії на дихання і продукцією біомаси (рис. 2.3).

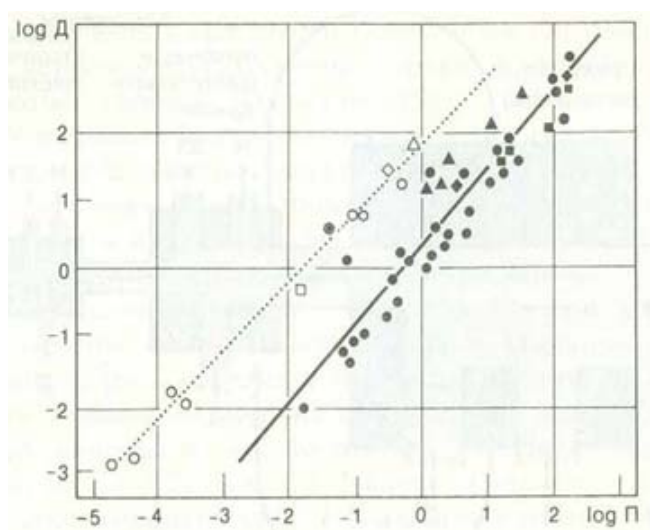


Рис. 2.3. Зв'язок між продукцією (P) та диханням (D)

У протилежність енергії, що передається в екосистемі від одного трофічного рівня до іншого в одному напрямі, речовина циркулює між цими рівнями по біогеохімічних циклах. При цьому або опади (наприклад, у разі сірки), або повітря (наприклад, у разі азоту) є величезним резервуаром, з яким пов'язані цикли, що протікають в екосистемах. З цих циклів окремі організми, які займають різне положення в біоценозах, можуть витягувати необхідні кількості речовин для свого метаболізму. Звичайно, іноді і речовини рухаються через екосистеми в одному напрямі. Наприклад, викопні носії енергії не здібні до природної «рециклізації», тоді як вапняні і силікатні залишки водоростей, видалюючись з екосистем за рахунок сили тяжіння, утворюють дані осади і знову можуть включитися в кругообіг тільки в ході горотворних процесів.

Як правило біомаса при переході від одного трофічного рівня до наступного зменшується. Тому в ланцюгах «первинні, вторинні і т.д. консументи» поступово відбувається концентрація речовин, що не видалюються з організму ні екскрецією, ні диханням. Прикладом служать хлорорганічні з'єднання (ДДТ і ін.), що застосовувалися як контактні інсектициди і потрапили до різних органів м'ясоїдних хребетних. На рис. 2.4 показаний зв'язок між річною чистою продукцією (П) і витратами на дихання (Д) в морських, прісноводних і наземних популяціях тварин. Значення Д і П набуті шляхом вимірювань на окремих особинах з подальшим перерахунком на приблизну густину їх популяцій (біомасу) (ккал/м²/тод). Небезпека акумуляції патогенних речовин посилюється ще й тим, що різні організми вибірково поглинають і запасають окремі елементи або з'єднання. У деяких одноклітинних радіолярій вміст стронцію в голках скелета набагато вищий, ніж в морській воді. Продукт ядерного розпаду стронцій-90, що все більше накопичується в атмосфері (рис. 2.4, А) і випадає на землю з атмосферними опадами, легко поглинається листям і корінням рослин і в кінці харчового ланцюга разом з кальцієм відкладається в кістках хребетних. Через свій великий (28 років) період напіврозпаду цей небезпечний радіонуклід довго зберігається в біохімічних циклах.

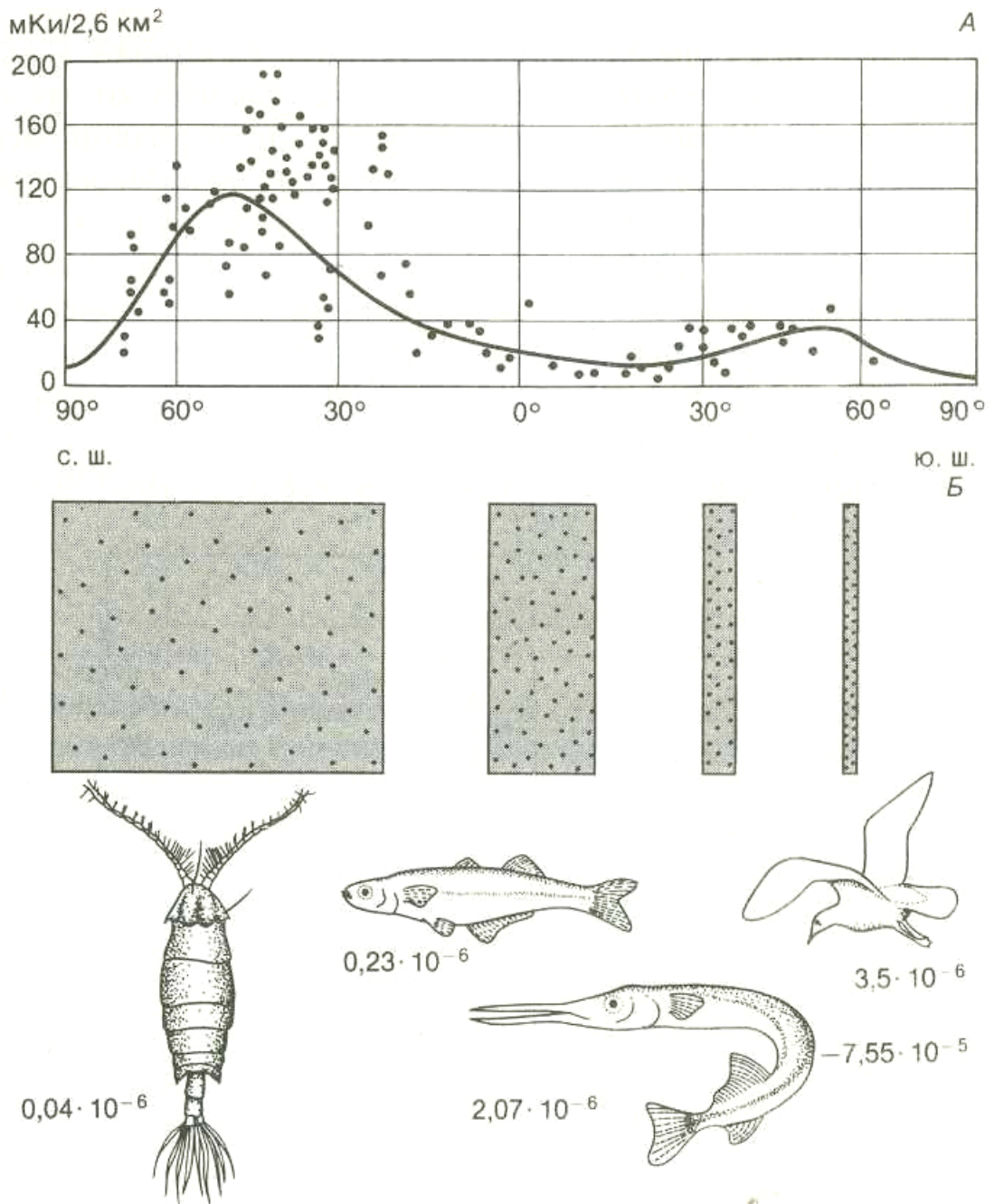


Рис. 2.4. Накопичення ДДТ в різних ланках харчового ланцюжку

Істотним аспектом при функціональній типізації екосистем є співвідношення в них мікро- і макроконсументів. Організми, що харчуються живими рослинами, утворюють першу ланку харчового ланцюга макроконсументів, тоді як залишки чистої рослинної продукції у вигляді мертвої

органічної речовини використовуються в харчовому ланцюзі деструкторів. Потоки енергії по цих двох каналах в межах однієї екосистеми можуть бути вельми різними. У морі риби і донні тварини як макроконсументи використовують близько 70% первинної продукції, тоді як в степових зонах або в лісах більше 90% первинної продукції проходить через деструкторний (детритний) ланцюг. У стабілізованих екосистемах регулюючі механізми перешкоджають, з одного боку, дуже інтенсивному використуванню первинної продукції макроконсументами (наприклад, надмірному випасу), а з іншого - надмірному накопиченню детриту, що зв'язує мінеральні речовини, які беруть участь в біохімічних циклах.

Незалежно від видового багатства більшість екосистем має типову видову структуру з небагатьма формами, представленими відносно великим числом особин і відповідно значною біомасою (екологічні доміанти), тоді як на більшість інших часто припадає лише декілька відсотків загальної маси біоценозу. Наприклад, в хвойній підстилці соснового лісу до одного з більше 60 видів кліщів відноситься 41% всіх особин цієї групи. На культурних пасовищах звичайно основну фітомасу дає також дуже невелике число домінуючих видів. Решта видів, чисельність яких вельми незначна, виконує регуляторну функцію, забезпечуючи переадаптацію екосистеми до змін навколишнього середовища. Тому їх участь в стабілізованих («зрілих») екосистемах завжди більш виражена, ніж в молодих співтовариствах або тих, які відчувають сильну антропогенну дію. У загальному випадку число видів (A) і число особин (I) в екосистемі зв'язані логарифмічною залежністю. Нахил прямих регресії $A = 1 \log I$ залежить при цьому від умов середовища (наприклад, зниженої або підвищеної кислотності ґрунтів).

Екосистема не є статичним утворенням. Оскільки умови середовища впродовж довгого часу непостійні і змінюються також самим біоценозом, в одному і тому ж місці відбувається зміна різних, фізіономічно часто абсолютно не схожих один на одного співтовариств - так звана сукцесія. У багатьох випадках (наприклад, при заростанні озер або морських бухт, залісенні розкорчованих

площ і т.д.) можна прослідити тенденцію до утворення в ході сукцесії якогось кінцевого стану (клімаксу), який, втім, через довготривалі кліматичні зміни і особливо антропогенний вплив також не залишається незмінним.

Одненаправленість сукцесійного ряду особливо чітко виявляється в зміні інтенсивності продукування і споживання речовин. Тоді як на ранніх стадіях сукцесії видовий спектр звичайно вузький і первинна продукція набагато перевершує її споживання (автотрофна фаза), зрілі екосистеми у зв'язку з підвищенням витрат на дихання відрізняються урівноваженням загальної продукції споживанням, а також низькою чистою продукцією. Видова різноманітність при цьому зростає в багато разів. Оскільки у зв'язку з цим посилюються регуляторні механізми усередині екосистеми, буферні властивості екосистеми по відношенню до фізичних чинників середовища на пізніх стадіях сукцесії виражені набагато краще, ніж на ранніх. У лабораторних культурах, що починаються переважно автотрофними фітопланктонними стадіями і поступово збагачуються гетеротрофним зоопланктоном, ці відносини можна прослідити кількісно.

Оскільки ранні стадії сукцесії (наприклад, бідні видами посіви) відрізняються сильним перевиробництвом органічної речовини, а пізні (наприклад, ліс) – краще відрегульованою екологічною рівновагою, стабільні умови спостерігаються там, де обидві ці стадії мозаїчно переплітаються (об'єднуються). При організації ландшафту слід враховувати такі закономірності.

У місцевостях з сильно розвиненою промисловістю стає все важчим зберігання стабільних самоврегульованих екосистем. Оскільки людина бере з цих екосистем необхідну їй енергію і віддає натомість відходи, що утворюються при здобичі і використанні цієї енергії, середовище в умовах антропогенного впливу відчуває все більший стрес. Цей стрес досягає при відомих обставинах такої сили, що рівновага потоку енергії і кругообігу речовин порушується. Зниження чисельності або вимирання видів тварин і збіднення біотопів - очевидне свідчення таких екологічних навантажень. Перед охороною природи стоїть невідкладна

задача вивчення антропогенної загрози екосистемам у всьому комплексі її причинно-наслідкових зв'язків і запобігання катастрофічного, незворотного для природи і для суспільства порушення екологічної рівноваги. Це означає, що екологія стає основою «науки про виживання», яка виникла у зв'язку з абсолютно новими гострими проблемами, обумовленими вибухоподібним збільшенням населення планети. Природно, рішення цих проблем вимагає не тільки біологічних, але також технічних, економічних і суспільно-політичних знань і заходів.

2.3. Ґрунт як середовище, в якому вирощуються рослини

Загальновідомо, що ґрунт є будинком для рослин. Проте роль ґрунту вельми складна і неоднозначна. Ґрунт повинен задовольняти цілому спектру вимог для того, щоб рослини могли нормально розвиватися. Глибина ґрунту повинна бути достатньою для розміщення кореневої системи рослин. Для забезпечення газового обміну ґрунт повинен мати порозність (або пористість). Крім того, в ґрунті повинно бути достатньо води і живильних речовин. Важливо також, щоб ґрунт не був забруднений фітотоксинами і збудниками хвороб рослин.

Вегетативна маса рослин і її частина у вигляді урожаю накопичується як наслідок протікання безлічі фізико-хімічних і біологічних процесів. Головним і початковим процесом є фотосинтез, в результаті якого з вуглекислоти і води під дією енергії сонячного випромінювання або енергії фотонів синтезуються органічні сполуки типу глюкози або крохмалю, здатні запасати енергію, яка надалі витрачається для здійснення фізико-хімічних реакцій синтезу і розкладання живильних речовин, необхідних для життєдіяльності рослин. Ґрунт в значній мірі допомагає рослині вбирати і випаровувати воду, а також забезпечує макро- і мікроелементами, що витрачаються на будівництво живильних речовин а також прискорюють хімічні реакції. Важливо підкреслити, що вивільнення в зручному для рослин виді макро- і мікроелементів відбувається головним чином міриадами мікроорганізмів, до яких перш за все відносяться бактерії, гриби,

простіші і інші види. Ґрунт надає притулок для цих мікроорганізмів і створює умови для їх розмноження і життєдіяльності.

Саме завдяки структурі ґрунту і її гранулометричному складу, а також спеціальним гідравлічним властивостям рослина забезпечується водою, яка майже вся витрачається на підтримку теплового балансу шляхом випаровування або транспірації. Різні види рослин пред'являють свої вимоги до складу макро- і мікроелементів в ґрунті, вмісту вологи, тепла, освітлення і в основному ці вимоги виконуються різними типами ґрунтів. На рис. 2.5 показаний схемно процес кореневого живлення рослин і джерела живильних елементів (по В.І. Канівцю).

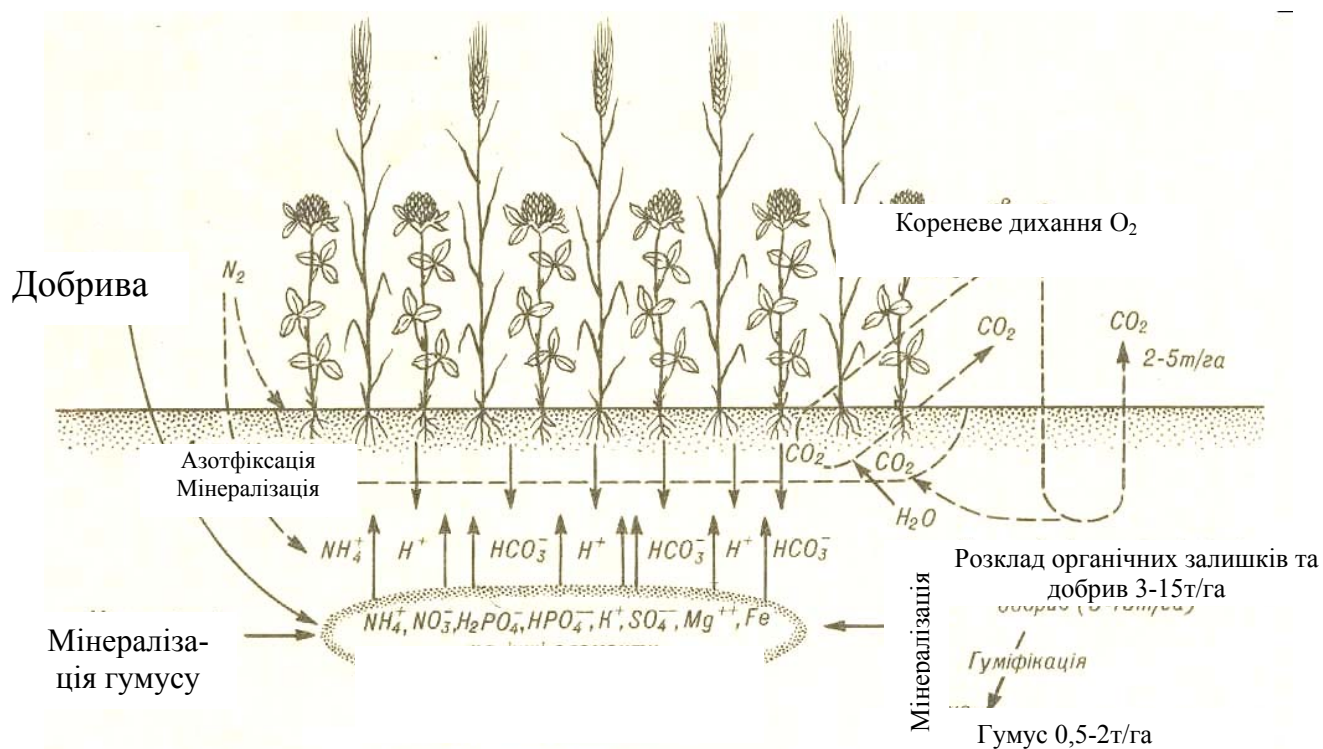


Рис. 2.5. Схема кореневого харчування рослин (по В.І. Канівцю)

2.4. Підтримка водного балансу на Землі

Запас води на Землі постійний і використовується циклічно. Переважна кількість води (98%) знаходиться в океанах, озерах і водотоках. Ті 2%, що залишилися, складають полярні льоди і льодовики, вода ґрунту, водяні пари атмосфери і вода, що входить до складу живих організмів.

Під сонячним промінням вода випаровується з океанів, озер, річок і струмків, з вологої поверхні ґрунту, з тіл живих організмів, поступає в атмосферу і знову повертається на Землю у вигляді опадів (рис. 2.6). Це постійне переміщення води з Землі в атмосферу і назад називається кругообігом води. Він відбувається за рахунок сонячної енергії.

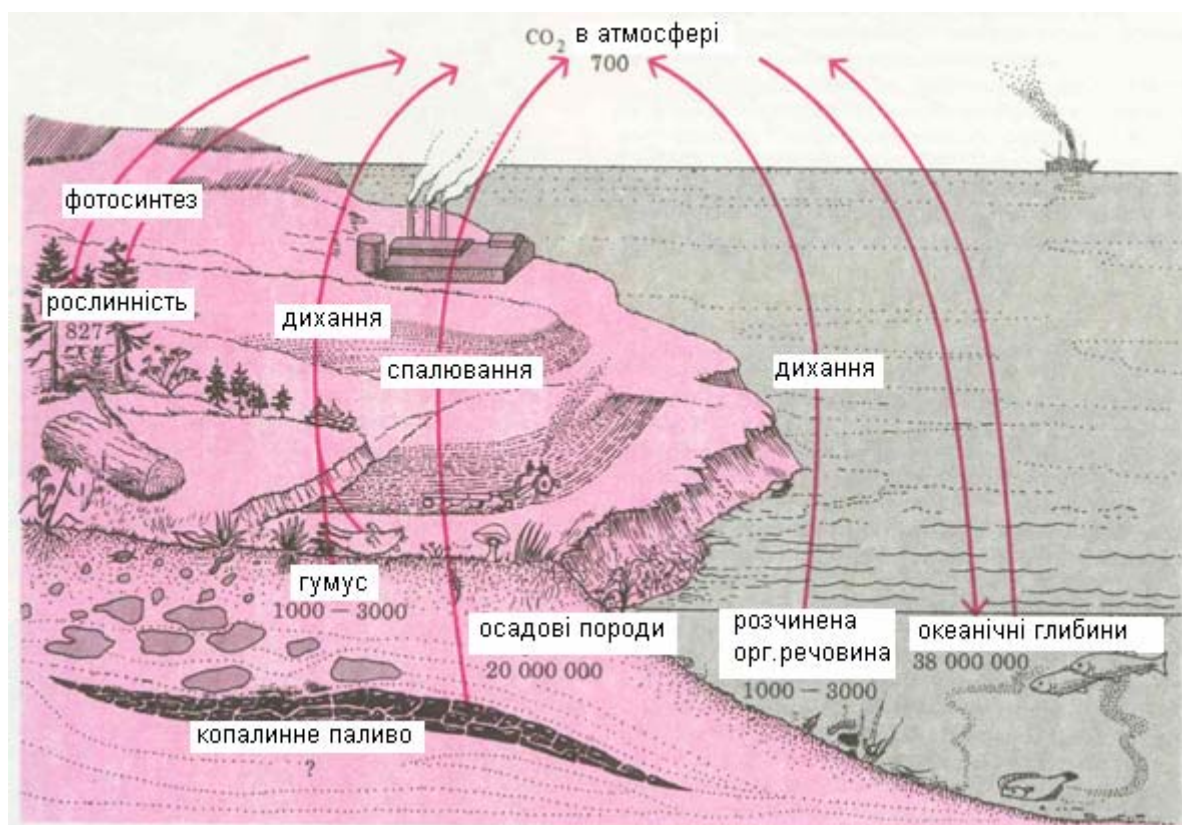


Рис. 2.6. Схема водного балансу

Частина води, що випадає на земну поверхню, просочується крізь ґрунт вниз до зони насичення. У цій зоні всі поглиблення і тріщини в гірських породах заповнені водою. Нижче за зону насичення залягають суцільні гірські породи,

крізь які вода не може проникнути. Верхня поверхня зони насичення позначається як рівень ґрунтових вод.

Існує безліч фактів, які свідчать про те, що життя на Землі виникло в першу чергу у воді і завдяки воді. Саме тому кругообіг води в природі має першорядне значення для розвитку всього живого. Вказаний кругообіг протікає в основному у вигляді випаровування з поверхні землі і океанів, випаровування з листя і поверхні рослин і опадів.

В процесі кругообігу води відбувається розчинення і перенесення елементів, перетворення літосфери. Вода є одним з головних учасників гідрогеологічних і метеорологічних процесів, а також основною компонентою життєдіяльності рослин, що виробляють значну частину кисню на Землі. Стійке функціонування екосистеми забезпечується тільки при збалансованому кругообігу води. Так, в тих місцях суші, де накопичення води випереджає її випаровування, відбувається заболочування території, а при переважанні випаровування над накопиченням опадів розвиваються процеси утворення пустель. Наземні рослини є могутнім регулятором кругообігу води. Збільшення накопичення води в ґрунті супроводжуються в здоровій екосистемі прискоренням розвитку рослин, які через транспірацію збільшують темпи випаровування води, а також споживають її для збільшення власної біомаси. У посушливі періоди рослини виконують роль буфера, який уповільнює втрати вологи з ґрунту, оскільки швидкість випаровування вологи з голої поверхні землі в кілька разів вище, ніж з ділянок, покритих рослинністю, та лісових масивів.

Ґрунт є надійною «ковдрою», що зберігає підземні ґрунтові води, які виходять близько до земної поверхні. При руйнуванні ґрунтового шару ерозійними і обвальними процесами оголяються підземні водоносні горизонти. Балки, що утворюються, і рови, що виконують роль стоків, є причинами втрати ґрунтових вод і пониження їх дзеркала. Саме тому однією з найактуальніших задач сьогодні є скорочення темпів вирубки лісів на планеті.

Таким чином ґрунт є найважливішим елементом регулювання водного балансу планети.

2.5. Утилізація відходів в ґрунтовому шарі

Ґрунти є практично непоправним ресурсом життєзабезпечення нашої планети і одночасно вони виконують захисну або протекторну роль по відношенню до природних вод, атмосфери і рослинності. Якби в ґрунті не відбувалося розкладання органічних залишків, що поступають до нього безперервно протягом року, Земля перетворилася б на гігантське звалище і життя на ній не було б можливим. Щорічно в умовах помірного клімату на 1 гектар ґрунту потрапляють десятки тон рослинних залишків (листя, що впало, відмерла трава і коріння дрібної рослинності, фекалії тварин і їх трупи і інші органічні залишки). Ці речовини в переважному числі випадків містять цінні живильні речовини для рослин, проте вони знаходяться в недоступній або зв'язаній формі.

Ґрунт представляє собою природний біохімічний реактор, який утилізує всі органічні відходи, що потрапляють в нього. Важливо відзначити, що ґрунт є саме реактором, що забезпечує процес розкладання органічних залишків необхідною енергією, температурою, вологістю і іншими термодинамічними умовами. Активну ж роль в розкладанні органічних залишків виконують мікроорганізми, які населяють ґрунт. В процесі розкладання попутно знищується частина деяких хвороботворних організмів, що представляють небезпеку для рослин, тварин і людини.

Таким чином в ґрунті відбувається не тільки розкладання органічних залишків, але і вивільняються при цьому цінні живильні речовини, а також знищуються хвороботворні організми.

2.6. Ґрунт як місце мешкання живих організмів

Ґрунт є субстратом, на якому розвиваються рослини. Крім того разом з рослинністю в ґрунті мешкає безліч живих організмів: від мікробів до дрібних ссавців, таких як кроти, землерийки, бурундуки. Маса риючих істот, серед яких особливе місце займають мурашки і дощові черв'яки, аерують ґрунт і підвищують його здатність вбирати вологу і пропускати повітря. Дощові черв'яки, яких Аристотель назвав «кишками землі» покращують ґрунт, пропускаючи його через свій травний тракт. Важливо, що поліпшений ґрунт викидається на поверхню. Таким чином йде збагачення верхнього родючого шару, причому за один рік дощові черв'яки здатні переробити до 500 тонн матеріалу на гектар площі. В результаті такої переробки ґрунт містить в порівнянні з контрольною порцією більше: азоту – в 5 разів, фосфору - в 7 разів, калію - в 11 разів, магнію - в 3 рази і кальцію - в 2 рази. Рис. 2.7 ілюструє різноманітність ґрунтових організмів і широкий діапазон, в межах якого змінюються їх розміри.

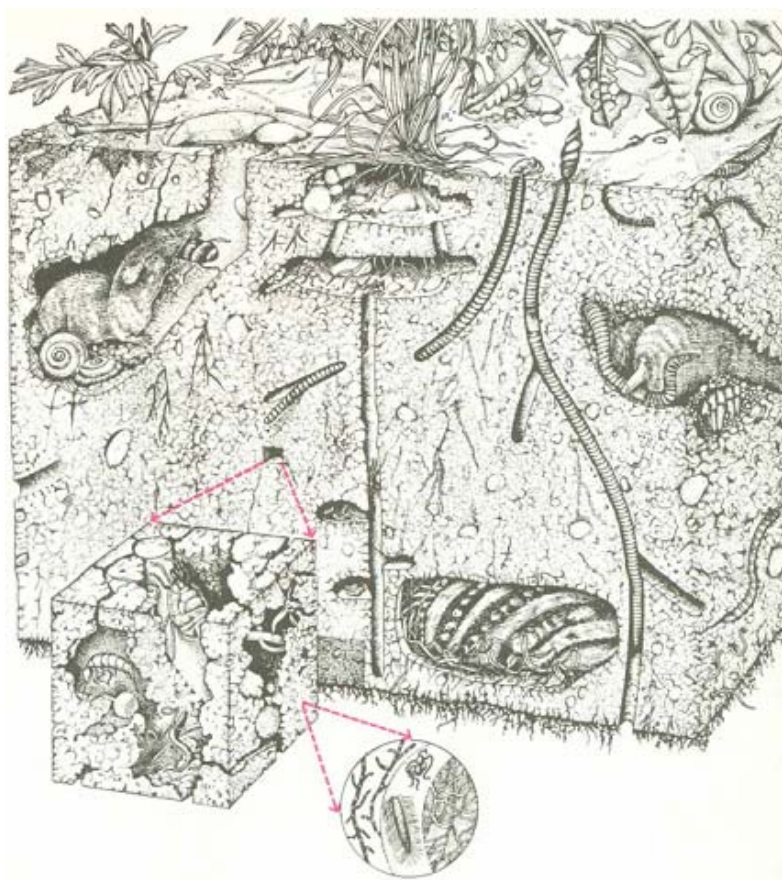


Рис. 2.7. Живі організми в ґрунті

Основну роль деструкторів органічних залишків виконують бактерії і гриби. Бактерійна маса орного шару ґрунту може досягати 10-40 ц/га у ґрунтів, що збагачені рослинними залишками і органічними добривами.

Бактерії відносяться до прокаріотів, оскільки їх клітини позбавлені сформованого ядра, оточеного мембранами клітинних органелл. Бактерії також не розмножуються статевим шляхом. Більшість бактерій має міцну клітинну оболонку а їх генетичний матеріал представлений єдиною кільцевою молекулою дволанцюжної ДНК. Як правило бактерії є одноклітинними організмами, хоча після розподілу можуть утворювати колонії у вигляді ниток і інших структур, нагадуючи багатоклітинні організми, хоча й не є такими. Більшість бактерій разом з грибами є гетеротрофами і виконують найважливішу функцію редуцентів в ґрунті, розкладаючи органічні залишки. Процес дихання у різних типів бактерій протікає як з використанням кисню, так і без нього. Бактерії виконують важливу екологічну функцію в ґрунтовому шарі, підтримуючи і регулюючи цикли азоту, сірки і вуглецю.

Певні види бактерій окислюють білки і амінокислоти і перетворюють аміак на нітрит, інші продовжують процес перетворення нітриту в нітрати, підтримуючи кругообіг азоту. Багато ціанобактерій можуть фіксувати азот з повітря, накопичуючи його в ґрунті, що дуже важливо для живлення рослин.

Ґрунтові бактерії беруть участь в окремих етапах розкладання і кругообігу речовин. Багато бактерій розкладають речовини, що містять вуглець, і виділяють в атмосферу CO₂. В результаті в ґрунті накопичуються такі важливі речовини як целюлоза, лігнін, пектин, крохмаль і цукор. Більше 90% вуглекислоти в біосфері утворюється в результаті діяльності бактерій.

Існують також види бактерій, які гідролізують білки до пептидів з подальшим розкладанням на амінокислоти. Багато бактерій використовують процес амоніфікації, внаслідок чого амінокислоти розкладаються з виділенням амонію. Амоній окислюється до нітриту хемоавтотрофною бактерією *Nitrosomonas*, нітрит в свою чергу перетворюється на нітрат бактерією *Nitrobacter*.

Цей послідовний процес окислення азоту називають нітрифікацією. Процес нітрифікації йде з виділенням енергії, яка використовується для відновлення двоокису вуглецю до вуглеводу подібно тому як це відбувається при фотосинтезі у рослин.

Фіксація азоту з повітря є одним з найважливіших шляхів доставки живильного елементу для рослин. Серед небагатьох ґрунтових бактерій, здатних здійснювати цей процес, існує симбіотична бактерія *Rhizobium*, яка утворює бульби на корінні бобів і деяких інших рослин. Деякі азотфіксуючі бактерії пов'язані з листям рослин, проте є і вільноживучі форми, включаючи ціанобактерії, які виконують важливу роль у фіксації азоту з повітря.

Рослини не можуть самі засвоювати вільну сірку. В цьому випадку також допомагають специфічні бактерії (рис. 2.8).

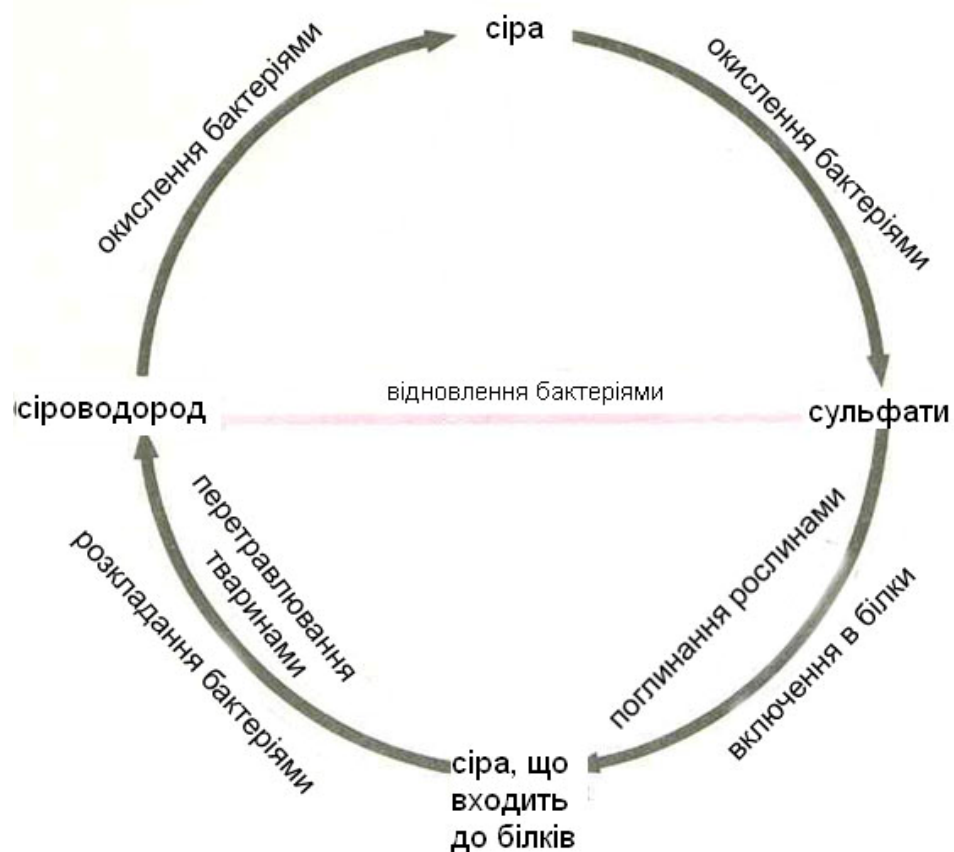
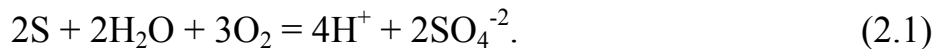


Рис. 2.8. Кругообіг сірки

Так, деякі хемоавтотрофні бактерії, такі як *Thiobacillus*, окислюють сірку до сульфатів за реакцією, що протікає по наступному рівнянню, і тим самим роблять її доступною для рослин в розчинному вигляді:



Сульфати накопичуються рослинами, в наслідок цього сірка, що міститься в сульфатах, включається до складу білків. При розпаді білків вивільняються амінокислоти, частина яких також містить сірку. Деякі бактерії можуть розкласти такі амінокислоти з виділенням сірководню.

Таким чином бактерії регулюють кругообіг сірки. Саме завдяки діяльності бактерій і грибів такі важливі елементи як вуглець, азот або сірка виводяться з складу молекул, в які вони включилися в ході реакцій. Ґрунтові гетеротрофи розкладають органічні речовини. Завдяки цьому продукти розпаду можуть включатися в інші з'єднання і брати участь в біологічних циклах. Важливо розуміти, що без здійснення такого кругообігу елементів всі організми, включаючи рослини, переповнилися б продуктами свого обміну речовин.

Відзначимо, що природа відрегулювала цикли обміну елементами таким чином, що підтримується динамічна рівновага їх кількості і якісного складу в ґрунтовому шарі. Тому активна діяльність людини порушує досягнутий баланс, у тому числі і баланс сірки. Такі порушення відбуваються зокрема при спалюванні гігантських об'ємів вугілля і нафтопродуктів в теплових електростанціях планети.

Гриби утворюють окреме царство, оскільки істотно відрізняються від водоростей, мохів і судинних рослин. Гриби разом з гетеротрофними бактеріями і деякими іншими групами гетеротрофів виконують в біосфері важливу роль редуцентів. Саме таким чином зв'язані в речовинах-відходах елементи вивільняються для подальшої циркуляції в природі. Маса грибів приблизно рівна масі бактерій і складає 20-40 ц/га орного шару ґрунту. В процесі розкладання органічних залишків в атмосферу виділяється вуглекислий газ, а в ґрунт

повертається азот, сірка і інші важливі елементи, які використовуються для будівництва нових поколінь рослин. В середньому верхні 20см ґрунтового шару містять близько 5 тонн грибів на один гектар. Гриби володіють могутнім набором ферментів, інтенсивно і ефективно руйнуючи органічні залишки. Оскільки вони не розрізняють корисні для людей продукти від рослинних залишків, гриби завдають значної шкоди людині, псуючи харчові продукти, шкіру, віск, ізоляцію кабелів і навіть лінзи оптичних приладів. Гриби завдають значної шкоди виробництву і крім того виділяють сильну отруту і канцерогени в процесі своєї життєдіяльності.

Близько 80% судинних рослин пов'язані з грибами своєю кореневою системою. Цей симбіоз виконує важливу роль в живленні і розповсюдженні рослин. Гриби мешкають головним чином на суші і перш за все в ґрунті. Швидке зростання і нитчаста будова грибів зумовили особливий тип взаємостосунків з навколишнім середовищем. Із спор зростають так звані гіфи, площа поверхні яких значно розвинена за рахунок пор і нитчастої структури. В результаті площа контакту з навколишнім середовищем вельми велика, що має важливе значення для структуризації ґрунтів. Всі гриби харчуються мертвими органічними залишками, розчиняючи їх ферментами, що виділяються в область контакту, або є паразитами, які живуть за рахунок соків рослин-господарів.

Більшість грибів зігоміцетів мешкає в ґрунті на залишках рослин, що розкладаються.

Протисті є ще однією групою широко поширених в ґрунті організмів та накопичуються в кількості 2-3 т/га орного шару ґрунту. Типовими представниками є джгутикові, інфузорії, амеби. Розміри протистів коливаються в межах 5-20мкм, форма їх різноманітна: від круглої до гіллястої. Ці істоти пересуваються в рідких ґрунтових плівках і беруть активну участь в розкладанні органічних речовин. Протисті мають високий степінь живучості, витримуючи дії кислот і переживаючи періоди засух. Протисті поїдають бактерії, регулюючи їх чисельність.

Нематоди (мікроскопічні черв'яки) є ще одним з видів мікроорганізмів, що населяють ґрунт. Як і прості, нематоди не тільки виконують корисні функції в перетворенні ґрунтових компонентів, але є паразитами, наносячи збитки сільському господарству.

Мікоплазми і віруси, які здатні вражати бактерії, населяють ґрунти в незначній кількості.

Ґрунт населений також звичними для нас мезо- і макрофауною. Ґрунтова **мезофауна** представлена кліщами, ногохвостками, дрібними багатоніжками, комахами. До **макрофауни** відносяться дощові черв'яки, крупні комахи, жуки, гризуни. Крупні тварини не тільки перетравлюють рослинну їжу, але і стимулюють розвиток мікроорганізмів. Тварини здійснюють як механічне подрібнення рослинних залишків, так і виконують біохімічне їх розкладання. В результаті поверхня залишків різко зростає, причому її реакційна здатність збільшується за рахунок проміжної підготовки ферментами, що виділяються в шлунках тварин.

Організми перераховані у порядку основного харчового ланцюжка, який вони утворюють. З одного боку крупніші організми харчуються тими, які мають розміри на порядок менше. Проте насправді взаємозв'язок організмів в природному ґрунті набагато складніший і живильні ланцюжки мають розгалужену і хитромудру структуру. Так, наприклад, в шлунку гризунів є симбіотичні мікроорганізми, які в середовищі спеціальних ферментів, що виділяються в шлунку, мінералізують вуглеводи і протеїни, розкладають целюлозу.

Мікроорганізми також поселяються угрупованнями, які зв'язані складними асоціативними взаємостосунками. Саме завдяки такому ланцюжку динамічних зв'язків відбувається малоенергоємне перетворення рослинних залишків при низьких температурах і тиску. У відмінність від цього в промисловості застосовуються технології, які розкладають органічні речовини при тиску в тисячі бар і температурі сотні і тисячі градусів. Так природа взагалі і ґрунтові організми

зокрема виконують функції розкладання органічних залишків і вивільняють цінні макро- і мікроелементи для подальшого живлення нових поколінь рослин з мінімальною витратою енергії.

Особливим видом рослинних організмів, що мешкають в ґрунті, є **лишайники**. Лишайники є симбіотичними асоціаціями між грибами аскоміцетами і деякими видами зелених водоростей або ціанобактеріями. Самі гриби сильно захищають своїх годувальників автотрофів, що зумовило неймовірну живучість лишайників і пристосованість до суворих умов навколишнього середовища. Лишайники можна знайти на будь-якій частині суші, починаючи від холодної Антарктиди і закінчуючи заборами, що обдуваються альпійськими вітрами. Часто лишайники поселяються на голих скелях. Вважається, що саме тому лишайники виконували першу стадію ґрунтоутворення, руйнуючи тверді магматичні і осадові породи.

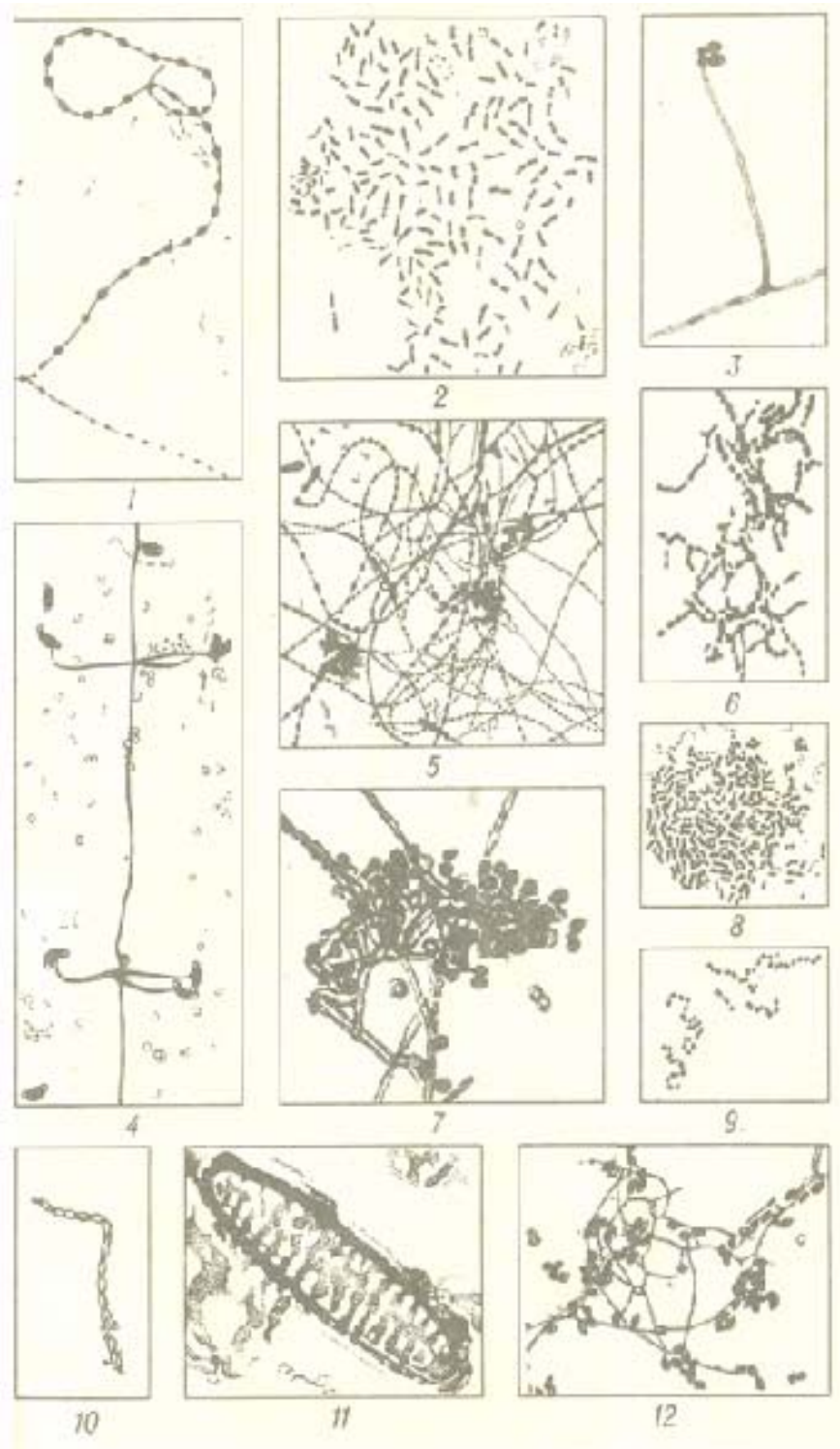
З двох компонент лишайника саме гриб одержує органічний вуглець від водорості або ціанобактерії, оскільки лишайник поводить себе як типовий автотрофний організм, залежний тільки від світла, повітря і мінеральних речовин.

Встановлено, що симбіоз гриба з судинною рослиною, який зветься мікоризою, виконує найважливішу роль у виживанні самої рослини. Гриби, зв'язані міцелієм з кореневою системою рослин, у декілька разів підсилюють транспорт живильних речовин до рослини, зокрема фосфору, що підвищує виживання сіянців. Без мікоризи сіянці погано виживають навіть на багатому мікроелементами і живильними речовинами ґрунті. Це ще раз свідчить про надзвичайно складну взаємодію ґрунту з біологічними видами, які виростають на його основі. Сам ґрунт часто представляє тільки матрицю, в оточенні якої можуть розвиватися при належній взаємодії рослини і гриби.

На рис. 2.9 приведені різні види і форми мікроорганізмів, що населяють ґрунт.

На рис. 2.10 показано, як співіснують мікроорганізми з рослинами і приведені їх характерні розміри. Наочно демонструється важлива роль колоїдного

гумусу, який складається з глинистих частинок, розміри яких мають розміри, близькі до розмірів бактерій.



*Рис. 2.9. Зовнішній вигляд мікроорганізмів під мікроскопом (по В.І.Канівцю):
1,4,12 – симбіоти, 2,6,8,9 – мікроби; 11 - водорості*

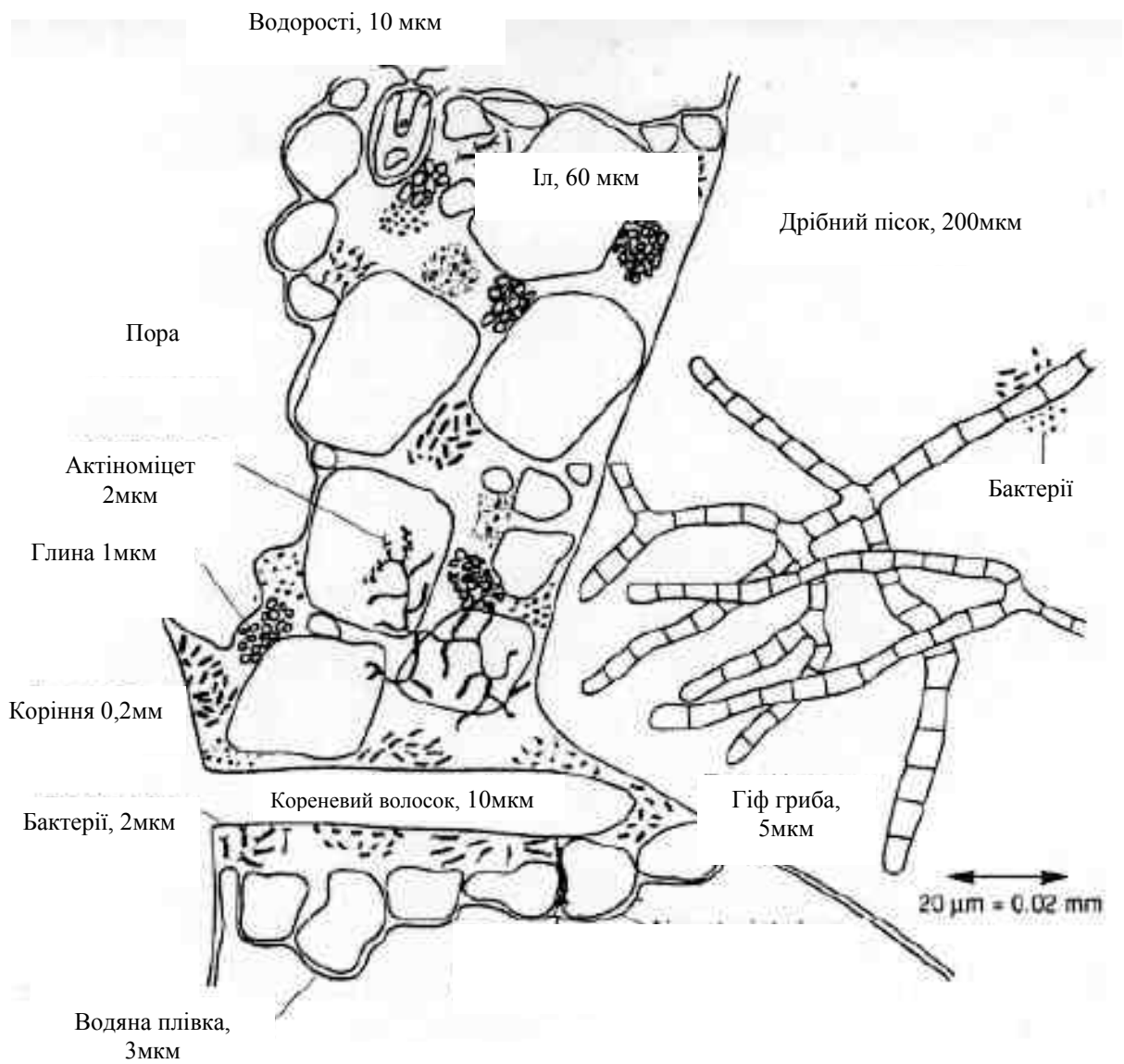


Рис. 2.10. Співвідношення розмірів мікроорганізмів (по У. Ровеллу)

2.7. Роль ґрунту в підтримці якості повітря і води

Вельми значна частка забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу і водне середовище, затримується в ґрунті. Надходячи до атмосфери речовини (наприклад оксиди сірки від спалювання палива в теплоелектростанціях) осідають в ґрунті разом з опадами. Багато забруднюючих речовин фільтруються разом з

грунтовими водами через ґрунт і товщу гірських порід. В процесі фільтрації забруднюючі речовини затримуються в ґрунті в результаті адгезії і хімічної взаємодії з ґрунтовою речовиною. Таким чином забруднюючі речовини витягуються з повітряних і водних підземних потоків, очищаючи їх. Проте, ці речовини поглинаються в ґрунті і повинні бути нейтралізованими або переробленими і знешкодженіми. Цю функцію виконують мікроорганізми, які розкладають речовини за допомогою ферментів. Проблема полягає у тому, що швидкість надходження забруднюючих речовин може перевищувати швидкість їх нейтралізації. В цьому випадку буферні властивості ґрунту не достатні для збереження речовинного балансу і ґрунти можуть деградувати.

Теорія стійкості ґрунтів від хімічного забруднення розроблена М.А. Глазовською. Ґрунти істотно відрізняються по стійкості до хімічного забруднення. Акумуляція забруднюючих речовин, які надходять до ґрунту, залежить від таких його властивостей, як вміст гумусу, механічного складу, карбонатності, реакції середовища (кислотної, нейтральної, лужної), ємності поглинання. Ступінь небезпеки ґрунтів по забрудненню збільшується в напрямі від різко промивного водного режиму до непромивного.

Розрізняють два види основних забруднень ґрунту. Перший включає педохімічні речовини, здатні змінювати кислотно-основні і окислювально-відновні умови в ґрунтах (мінеральні кислоти, луґи, метан, сірководень). Другий тип пов'язаний з біохімічними техногенними речовинами, здатними пригноблювати безпосередньо живі організми (важкі метали, пестициди).

При оцінці можливості самоочищення ґрунтів від забруднюючих речовин, необхідно знати процеси, які сприяють розкладанню цих небезпечних речовин або їх винесенню за межі профілю ґрунту. З одного боку вельми сильна здібність ґрунту до розкладання забруднюючих речовин пов'язана з високим вмістом гумусу і його біологічною активністю. Чим більше в гумусі мікроорганізмів і чим вища їх активність, тим вище здатність ґрунту переробляти і нейтралізувати небезпечні хімічні забруднюючі речовини.

Проте слід мати на увазі, що гумус має дуже високу поглинальну здатність і затримує майже всі речовини, які потрапляють в ґрунт. Тому відновні властивості гумусних ґрунтів спрацюватимуть лише при допустимому навантаженні на ґрунт, коли швидкість надходження забруднювача не перевищує темпи його переробки. Якщо така рівновага порушується, ґрунт починає накопичувати забруднюючі речовини і деградувати.

Ґрунти, що містять мало гумусу, наприклад підзолисті, швидко звільняються від забруднюючих речовин, особливо при промивному водному режимі. Проте у такому разі забруднюючі речовини просто пропускаються на нижні ґрунтові горизонти, де вже набагато менше чинників, здатних перетворити і нейтралізувати ці потенційно небезпечні речовини. Тому відносно висока стійкість піщаних ґрунтів до забруднення не повинна вводити в оману. В цьому випадку проблема нейтралізації шкідливих речовин відкладається на довгий період, тоді як чорноземи здатні нейтралізувати забруднюючі речовини зразу ж після їх попадання в ґрунт.

Саме тому останнім часом застосовується інтегральна оцінка стійкості ґрунтового покриву до забруднення. Як головні параметри стійкості були вибрані біологічна продуктивність, інтенсивність розкладання рослинних залишків, запаси органічної речовини в ґрунті. Первинна біологічна активність ґрунту оцінюється по річному приросту рослин. Інтенсивність розкладання рослинних залишків визначається на підставі підстеляюче-обпадочних коефіцієнтів рослинних співтовариств. Названі параметри, а також значення кислотності, ступінь насиченості лугами оцінені в балах. По сумі балів ґрунти розділені на групи стійкості. Показано, що для підзолистих ґрунтів, які містять мало гумусу, характерна низька стійкість до антропогенної дії. Це обумовлене низьким вмістом гумусу, кислотною реакцією ґрунтів, низьким ступенем насиченості ґрунтів лугами, розчленованим моренним рельєфом.

2.8. Ґрунт як основа людської інфраструктури

Людиноподібні істоти виникли в Африці принаймні 5 млн. років тому; такий вік мають якнайдавніші знайдені залишки роду австралопітек. Рід *Homo*, мабуть, відбувся від нього близько 2 млн. років тому, а людина розумна, *Homo sapiens*, існує не менше 500 000 років. Перші людиноподібні істоти харчувалися збиранням ягід, коріння, комах і навіть використовували падаль як їжу. Для прожитку однієї сім'ї збирачів вимагалось приблизно 5км² території. Крім того, людиноподібні повинні були постійно пересуватися з місця на місце, щоб знаходити нові території, багаті їжею. У таких умовах мати могла переносити не більш одного дитинча, що обмежувало народжуваність. Чисельність людиноподібних істот лімітувалася також хворобами, голодом, холодом. Крім того, фахівці встановили, що зайвих дитинчат людиноподібні найчастіше вбивали.

Перші людиноподібні, що усвідомили роль ґрунту, як невичерпного і надійного джерела прожитку, почали свідомо займатися землеробством та вирощувати ячмінь і інші злаки. Перехід від збирача до землеробства змінив стиль життя людей і став могутнім чинником формування людської цивілізації. По-перше, знаходячи родючі ділянки ґрунту люди осідали на місці, утворюючи села. Тепер вони жили не зграями або групами, а великими співтовариствами, що вимагають набагато більших інтелектуальних зусиль і адекватної соціальної поведінки. Суспільство землеробів вимагало складнішої організації, ніж збирачів. По-друге, обробка землі і переробка урожаїв створили потреби в розвитку технологій. По-третє, люди стали приручати собак і домашніх тварин, оскільки тепер корму вистачало і для розведення тварин.

У міру розвитку землеробства менше число людей діставало можливість виробляти більше продуктів харчування, вивільняючи деяких членів співтовариства для інших робіт і професій. Так з'явилися ремісники і інші спеціальності, набір яких диктувався законами ринку. Чим більше вивільнялося людей від виробництва продуктів харчування, тим різноманітніше ставало

суспільство, внаслідок чого виникли міста, промислове виробництво, наука, мистецтво.

Близько 11 000 років тому в Родючому півмісяці — області, що тягнулася від Лівану і Сирії через Ірак до Ірану, — люди почали обробляти ячмінь, пшеницю, чечевицю і горох. Вирощуючи культури, піклуючись про них, перші землероби змінювали ознаки видів; рослини ставали все більш живильними, зручними для збирання врожаю, відмінними від своїх диких родичів. З цього центру землеробство розповсюдилося по всій Європі, досягнувши близько 6000 років тому Британії, а можливо, і на південь по Африці, хоча не виключено, що на цьому континенті воно виникло незалежно в одному або декількох центрах. У Африці введено в культуру багато видів, зокрема ямс, окра, кава і бавовник; останній стали розводити незалежно в Новому Светі, а можливо, і в Азії. У Азії головними сільськогосподарськими культурами були рис і соя, а південніше — цитрусові, манго, таро, банани і ін.

З якнайдавніших часів істотною рисою цивілізації Старого Світу були домашні тварини, починаючи з собаки. Створені людиною стада овець, кіз, великої рогатої худоби і коней порушували екологічну рівновагу багатьох семіарідних (напівпустинних) областей цього регіону, особливо коли поголів'я їх сильно зросло, але вони ж служили важливим джерелом їжі. У міру розповсюдження землеробства були одомашнені інші тварини, наприклад буйвіл, верблюди, кури і слони. Травоїдні, виконуючі таку важливу роль в Старому Светі, після відкриттів Колумба були завезені до Америки, де сильним чином порушили багато місць проживання, включаючи тропічні ліси.

У Новому Светі землеробство виникло самостійно 9000 років тому в Мексиці і Перу. Собаки були занесені сюди людьми, що мігрували з Азії, але, мабуть, більше ніяких одомашнених тварин або рослин цим шляхом сюди не було інтродуцировано. Європейці знайшли тут масу нових для себе культур, які вивезли в Старий Світ. Серед них кукурудза, квасоля звичайна і лімська, томати,

тютюн, овочевий перець, картопля, батат, гарбуз, авокадо, какао і головні види культурного бавовнику.

Населення Землі, оцінюване в 5 млн. чоловік за часів зародження землеробства, збільшилося до 5 млрд. до середини 1980-х рр. Зростання його відбувається зараз дуже швидко, причому на 90% за рахунок тропіків, де сільська біднота складає 40% жителів. В результаті цього, а також загальної бідності і слабкої розробленості методів землеробства, придатних для тропічних областей, їх екологія все сильніше порушується.

Світове забезпечення продовольством може бути поліпшене за допомогою традиційної селекції, освоєння нових культур і методів генної інженерії. Серед найперспективніших харчових культур, розповсюдження яких почалося недавно, *Psophocarpus tetragonolobus* і зернові види щириці. Перша є традиційною культурою Нової Гвінеї, що вживалася як овоч також на островах тропічної Азії, але не вирощувалась там. Велике майбутнє мають технічні рослини — хохоба, що цінна своїм рідким воском, застосовним як змащувальний матеріал, і каучуконоса гваюли. З рослин одержують багато лікарських речовин, і, поза сумнівом, набагато більше їх число ще чекає свого відкриття. Проте порушення тропічних місць мешкання загрожує багатьом потенційно корисним рослинам вимиранням перш, ніж вони будуть описані і вивчені людиною.

Для розведення нових продуктивних видів рослин застосовується селекція і створення нових гібридів. Проте разом з успіхами виникають нові проблеми. Наприклад селекція і гібридизація приводить до одноманітності генного набору нового вигляду, оскільки селекціонери відбирають тільки ті особини, які проявляють задані позитивні якості, наприклад врожайність або посухостійкість. Разом з тим така одноманітність генного набору часто робить нові види уразливими для хвороб і паразитів.

Для виведення нових сортів рослин використовується генна інженерія. Ця технологія використовує ферменти рестриктази, що «розрізають» ланцюжки ДНК одних організмів на фрагменти, які можна включати в хромосоми інших видів (за

допомогою плазмід — кільцевих ДНК). Плазміда T1 бактерії, що викликає корончатий галл, особливу хворобу рослин, — єдиний відомий в даний час вектор для такого перенесення генів в рослини. Вважалося, що ця бактерія може інфікувати тільки дводольні. Але дані, які недавно з'явилися, наводять на думку, що вона вражає і однодольні, не утворюючи у них галлів. Йде активний пошук шляхів, що дозволили б переносити генетичний матеріал однодольним, в числі які багато найважливіших культурних рослин.

2.9. Охорона рослин

Існує близько 235 000 видів квіткових рослин. Батьківщина майже третини з них — області помірного клімату, а інших — тропіки. Не менше 40 000 видів тропічних рослин може опинитися в природі під загрозою зникнення протягом найближчих декількох десятиліть, оскільки народонаселення більшості країн цього регіону продовжує подвоюватися кожні 25—30 років, а ліси швидко вирубуються під сільськогосподарські угіддя. Приблизно половина світових тропічних лісів вже знищена, і решта частина швидко зникає.

Про рослини тропіків відомо так мало, що багато з них навіть не мають наукової назви. Збережені їх зразки можуть виявитися єдиними, що залишаться від цієї флори нашим нащадкам. Їх корисні властивості, безумовно, краще вивчати зараз, коли більшість видів ще існує.

Близько 5% місцевих видів рослин помірних районів знаходиться зараз під загрозою вимирання. Руйнування місць їх мешкання — лише одна з причин цього. Серед інших — надмірний випас худоби, застосування добрив і гербіцидів, які проникають в співтовариства дикорослих видів, інтродукція рослин з інших місць без засобів природного стримування їх популяцій, знищення обпилювачів.

Приблизно з 20 000 місцевих видів США, згідно дослідженню, проведеному Смітсоновським інститутом, принаймні 10% гарантована охорона. Вважається, що близько 90 видів вимерли за останні 200 років, близько 850 по всьому своєму

ареалу знаходяться під загрозою вимирання, а більше 1200 можуть опинитися під загрозою в найближчому майбутньому.

2.10. Пестициди і екосистеми

В світі для обробки посівів щорічно виробляється понад 1 млрд. т пестицидів. Підраховано, що з цієї величезної кількості тільки близько 1% фактично впливає на шкідливі організми, а інше або проникає в ґрунт, воду і інші організми тієї ж екосистеми, або переноситься в сусідні екосистеми, що може у крайній негативній позначитися на їх функціонуванні. Наприклад, не виключена загибель певних видів, що іноді веде до порушення функціонування екосистеми в цілому або побічно - до зникнення інших видів. Популяції найважливіших деструкторів, наприклад дощових черв'яків або інших ґрунтових організмів, можуть під дією пестицидів настільки скоротитися, що екосистема як така припинить своє існування. Інтенсивність такої дії залежить від токсичності хімічних речовин і від їх стійкості в навколишньому середовищі.

Одна з проблем, пов'язаних з деякими хімічними забруднювачами, полягає у тому, що вони мають тенденцію концентруватися у міру проходження по харчових ланцюгах, досягаючи максимального вмісту в їх кінцевих ланках — в тілі хижих тварин. Наприклад, хлорорганічні пестициди, зокрема ДДТ (у розвинених країнах він в даний час заборонений законом), накопичуючись в тканинах хижих птахів, служили причиною ненормального стоншування шкаралупи яєць, що відкладаються ними. Такі яйця часто розколювалися задовго до вилуплення пташенят, що помітно скорочувало плодючість видів.

Крім того, багато популяцій комах, бактерій і грибів виробили стійкість до пестицидів, призначених для боротьби з ними. За приблизною оцінкою, з 2000 видів основних комах-шкідників близько чверті вже включають популяції, нечутливі до одного або декількох інсектицидів. Так само у ряду смітних рослин з'явилася стійкість до гербіцидів.

Інші впливи та дії не такі прямолінійні. Наприклад, корисні хижаки, що підтримують в природних умовах низький рівень популяцій шкідників, можуть загинути в результаті отруєння пестицидами, що приведе до спалаху чисельності тих видів, проти яких застосовувалися ці хімікати. Як і в більшості випадків антропогенного втручання, загальний результат застосування пестицидів полягає в зниженні різноманітності екосистем, яких вони торкаються. Не дивлячись на ці ускладнення, високоврожайне сільське господарство зараз істотно залежить від застосування таких хімікатів.

Проте у зв'язку з тим, що їх дія часто приводить до драматичних наслідків, учені активно шукають альтернативні способи захисту рослин. До них відносяться селекція культур, стійких до шкідників (при цьому будуть корисні методи генної інженерії), розробка менш токсичних і менш стійких пестицидів, ніж використовувані в даний час, комплексні системи боротьби з шкідниками, включаючи використання хижаків і хвороб шкідників, а також раціональні пестицидні обробки.

2.11 Підсумки розділу

1. Екологічна система є функціональною одиницею, в якій між окремими видами, а також організмами і неживим середовищем спостерігається динамічна рівновага або тенденція до його досягнення. У ґрунтовій екосистемі автотрофи продукують живильні речовини з води і вуглекислого газу, а гетеротрофи харчуються цими речовинами, утворюючи ієрархію харчових ланцюжків у вигляді трофічних рівнів. При переході від нижчого трофічного рівня до наступного ці потоки завжди зменшуються на один-два порядки.

2. У протилежність енергії, що передається в екосистемі від одного трофічного рівня до іншого в одному напрямі, речовина циркулює між цими рівнями по біогеохімічних циклах (вуглецю, азоту, сірки і ін.)

3. Ґрунт є найважливішою екологічною системою, яка виконує вирішальну роль в біосфері і розвитку людства. Ґрунт є середовищем, в якому вирощуються

рослини, що забезпечують їжею і киснем все живе, підтримує водний баланс на Землі.

4. Ґрунт є своєрідним біохімічним реактором, який переробляє органічні залишки, що щорічно потрапляють в нього, розкладаючи їх і вивільняючи цінні живильні елементи для подальшого кругообігу і вирощування нових поколінь рослин. У ґрунті знищуються хвороботворні мікроорганізми і віруси.

5. Ґрунт населяють живі організми різного рівня. У порядку збільшення розмірів ґрунт є житлом бактерій і вірусів, грибів і водоростей, простих, нематод. Крупніші організми представлені мезо- і макрофауною. Взаємодія між вказаними групами організмів є вельми складною і часто симбіотичною. Це означає, що роботу по перетворенню ґрунту, деструкції рослинних і органічних залишків і вивільненню живильних речовин організми часто виконують сумісними комплексами, які зв'язані між собою складними ланцюгами. Саме завдяки такому ланцюжку динамічних зв'язків відбувається малоенергоємне багатоетапне перетворення рослинних залишків при низьких температурах і тиску. На відміну від цього в промисловості застосовуються недосконалі технології, які розкладають органічні речовини при тиску в тисячі бар і температурі сотні і тисячі градусів.

6. Якість повітря і води, які ми використовуємо для дихання і пиття, значною мірою визначається станом ґрунтового покриву планети. Ґрунт виконує важливі екологічні функції по очищенню повітря і води від забруднюючих речовин. Найбільшу протекторну можливість і стійкість до забруднень мають чорноземи. Проте навіть вони мають межу можливостей для поглинання і нейтралізації шкідливих речовин, при перевищенні якої відбувається необоротна деградація ґрунтового шару.

7. Ґрунт створив можливість для різкого збільшення виробництва продуктів харчування, внаслідок чого кількість людей на планеті вибухоподібно зросла і виникли людські суспільства з розвиненою соціальною інфраструктурою. Проте експоненціальне зростання населення веде до забруднення і виснаження ґрунтів,

зникнення видів і екологічної катастрофи. Тому людство повинне вживати термінові і радикальні заходи по стабілізації екологічної обстановки на планеті і зокрема до збереження ґрунтів, які є безцінним і практично непоправним даром природи.

Питання для самоперевірки

1. Як змінюються потоки живильних речовин при переході від нижчого рівня екологічної системи до вищого?
2. Що є причиною втрати живильних речовин в екологічних ланцюжках?
3. Куди дівається речовина в замкнутій екосистемі?
4. Поясніть роль ґрунту в екологічній системі планети?
5. Що є причиною розкладання органічних залишків при попаданні їх в ґрунт?
6. Перерахуйте основні рівні організмів, що населяють ґрунт і дайте приклади цих організмів.
7. Поясніть механізм очищення повітря в ґрунтовому шарі.
8. Який механізм впливу ґрунту на розвиток цивілізації?

3. ВЛАСТИВОСТІ І СТРУКТУРА ҐРУНТУ

3.1. Введення

Різні наукові школи ґрунтознавства вкладають різне значення в поняття текстура, структура ґрунту або ґрунти. Саме в цьому питанні існують значні розбіжності, які утрудняють класифікацію ґрунтів. В результаті виник окремий напрям, який займається кореляцією типів ґрунтів, визначуваних по різних класифікаціях. Іншими словами, часто виникає необхідність знаходження відповідності між окремими національними класифікаціями і міжнародною класифікацією при практичному визначенні типу конкретного ґрунту. У даній посібнику використовується вітчизняний підхід, а кількісна і якісна характеристика будови ґрунту базується на оцінці її структури.

Будь-який ґрунт складається з окремих грудочок, що розрізняються формою і розміром. Деякі фахівці називають їх елементарними ґрунтовими частинками (ЕГЧ). Ці частинки можуть бути відособленими як окремі піщинки в піщаних ґрунтах, або склеєними в грудочки і агрегати, як в чорноземах. Структурність ґрунту виявляється в його здатності розпадатися на агрегати, а конкретна сукупність агрегатів формує ґрунтову структуру. Ця структура є одним з найважливіших показників, що визначають родючість ґрунту. Відзначимо, що в даному розділі розглядаються в основному мінеральна, тобто нежива частина ґрунту. Від структури ґрунту залежить багато властивостей ґрунту, і, перш за все, вологоємність, проникність, пористість, теплоємність і теплопровідність. Саме ці фізичні властивості ґрунту визначають його родючість, яка тим більше, чим вища здатність ґрунту накопичувати вологу, тепло і проводити повітря. Важливо мати на увазі, що більшість активних біологічних процесів розкладання органічних залишків, окислювально-відновні процеси перетворення живильних речовин, розмноження мікроорганізмів протікають на межах розділу окремих агрегатів або елементарних ґрунтових частинок.

3.2. Структура ґрунту

З агрономічної точки зору корисні властивості ґрунту визначаються розміром, формою і міцністю агрегатів, що складають його. Залежно від конкретної класифікації ЕГЧ розділяють на:

- глина або мул, розмір частинок не перевищує 0,001мм;
- пил, розмір частинок якої змінюється від 0,001мм до 0,05-0,07мм;
- тонкий пісок;
- пісок, розміром до 1мм;
- гравій, частинки якого мають великі розміри.

Класифікація частинок по крупній представлена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Класифікація елементарних ґрунтових частинок по М.О. Качинському

Середній діаметр ЕГЧ, мм	Назва ЕГЧ
Більше 3	Кам'яниста частина ґрунту
3-1	Гравій
1-0,5	Пісок крупний
0,5-0,25	Пісок середній
0,25-0,05	Пісок дрібний
0,05-0,01	Пил крупний
0,01-0,005	Пил середній
0,005-0,001	Пил дрібний
0,001	Мул
0,001-0,0005	Мул глинистий
0,0005-0,0001	Мул колоїдний
Менше 0,0001	Колоїди

Ясно, що вельми важлива роль у формуванні сприятливої структури ґрунту належить тонким ЕГЧ, які збільшують адгезію і надають клеючу дію, формуючи ґрунтові агрегати, а також є основою для утворення колоїдів, а значить і гумусу.

Однією з найважливіших характеристик структури ґрунту є його гранулометричний склад. Він показує процентний вміст частинок певного діаметру в даному зразку ґрунту. Як правило, використовують інтегральну криву гранулометричного складу, приведену на рис. 3.1.

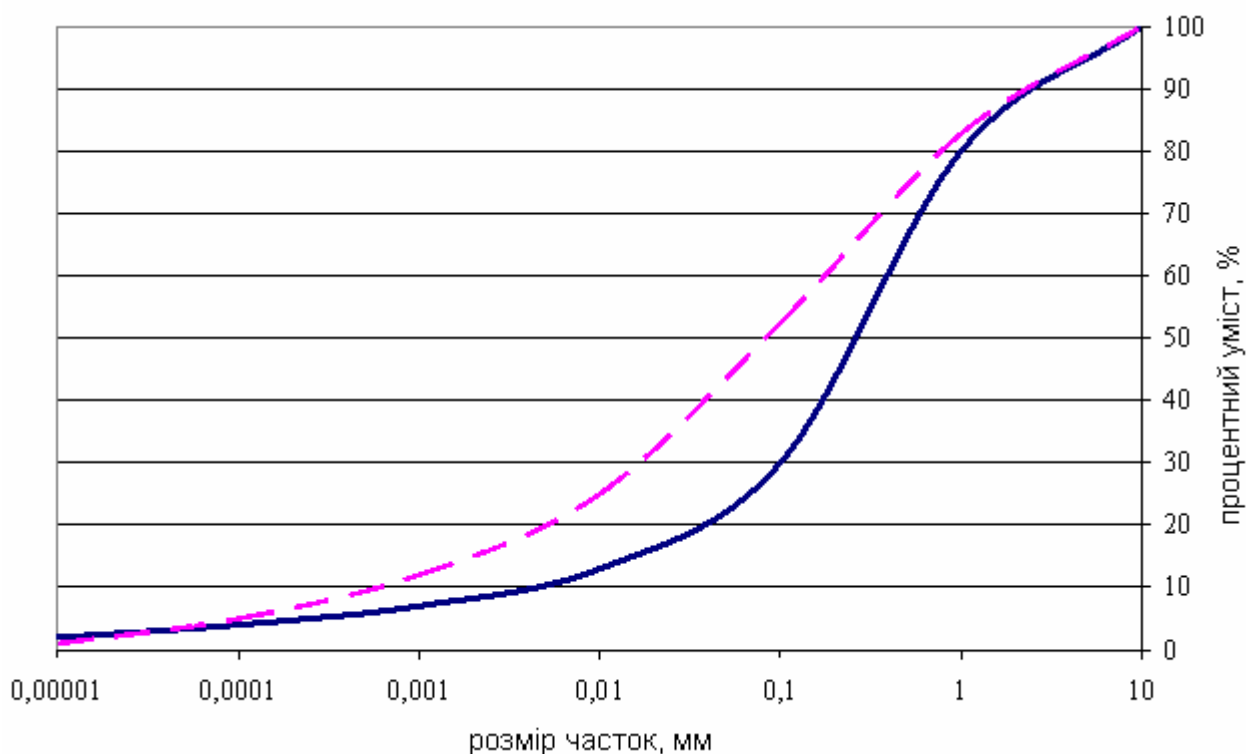


Рис. 3.1. Кумулятивна крива гранулометричного складу ґрунту.

По такій кривій можна визначити, скільки частинок певного розміру по масі є в даному зразку ґрунту. Наприклад, частинки розміром менш 0,001мм складають 7% від маси всього зразка ґрунту. Слід підкреслити, що визначити гранулометричний склад ґрунту не так просто. Для правильної оцінки гранулометричного складу необхідно підготувати зразок, а потім застосувати декілька методів, заснованих на різних фізичних законах. Крупні частинки відділити від загальної маси зразка найпростіше. Це виконується методом

розділення на наборі сит. Проте частинки менш 0,1мм і особливо тонкі частинки відділяються шляхом складніших процедур, одним з методів є седиментаційний аналіз. Для нього необхідно підготувати зразок, наприклад, шляхом його замочування на тривалий період, що дозволяє розділити частинки. Потім використовують закон Стокса, який встановив, що швидкість вільного падіння частинок в рідині визначається її в'язкістю і квадратом розміру частинок. Чим тонші частинки, тим повільніше вони осідають в рідині. Піщані частинки осідають приблизно протягом хвилини, мулисті протягом години, а глинисті залишаються зваженими протягом доби. При виконанні седиментаційного аналізу відбирають проби суспензії в певні періоди часу, фільтрують, висушують їх і зважують. Потім будують гранулометричну криву, зображену на рис. 3.1.

По положенню гранулометричної кривої можна судити про співвідношення окремих фракцій крупності конкретного ґрунтового зразка. На рис. 3.1 суцільної кривої показаний зразок, в якому переважають крупні фракції ЕГЧ. Пунктирною кривою зображений склад ґрунту з переважанням елементарних частинок середніх розмірів, хоча найдрібніших частинок в першому складі менше, ніж в ґрунті, який характеризує пунктирна крива. В цілому структуру ґрунту характеризують по відносному вмісту окремих фракцій. На рис. 3.2 показана діаграма, за допомогою якої класифікують структуру ґрунту по співвідношенню в ній глинистих, пильоватих і піщаних частинок.

В цілому ґрунти, що по гранулометричному складу відносяться до глин, чинять максимальний опір руйнуванню при оранні, який перевищують 65 кПа, а також мають максимальну клейкість, що становить 25 кПа і більш. Це характеризує ґрунт як особливо важкий за умов механічної обробки. Коефіцієнт фільтрації води в таких ґрунтах має вельми низьке значення 10^{-8} м/с і менш. Такі ґрунти не тільки потребують максимальних енерговитрат на обробку, але і погано пропускають воду, що має критичне значення особливо в арідних (посушливих) умовах.

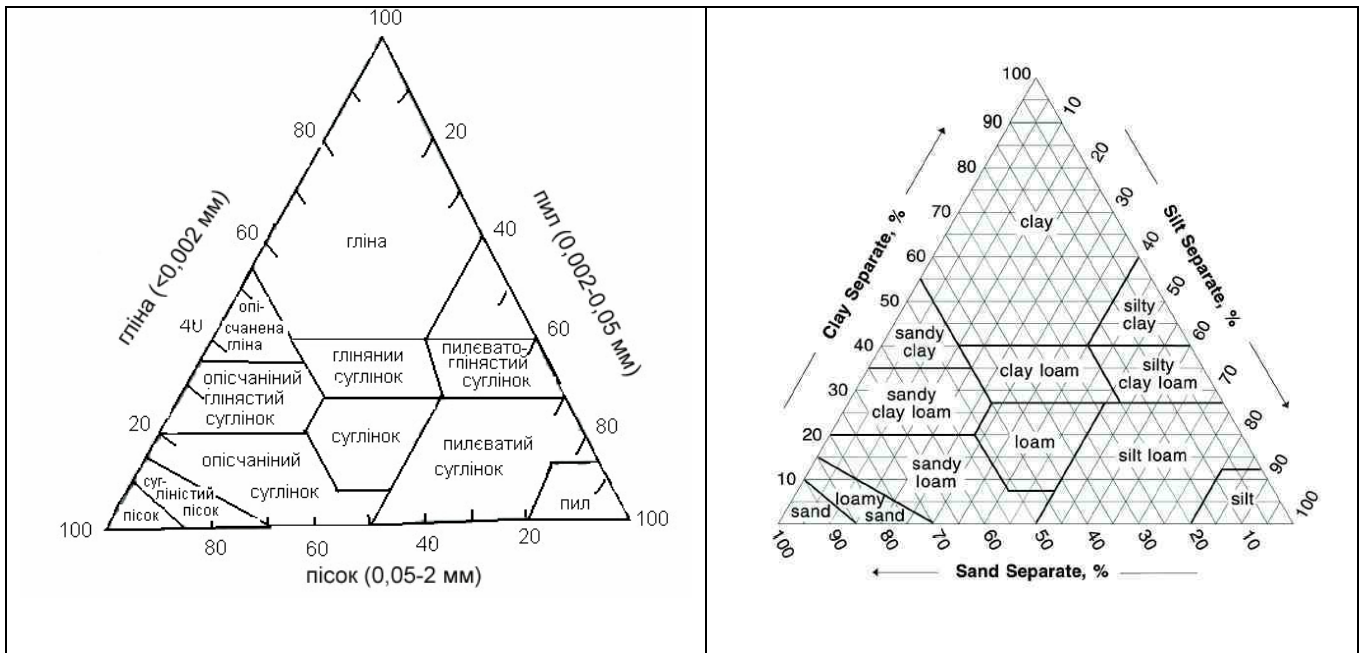


Рис. 3.2. Трьохкомпонентна класифікація структурного складу ґрунту

Клейкість суглинків знаходиться в межах 5-25 кПа і питомий опір при оранні 20-65 кПа. Коефіцієнт фільтрації в таких ґрунтах змінюється в межах 10^{-7} – $6 \cdot 10^{-5}$ м/с. Ці ґрунти вимагають помірних витрат на обробку, добре структуруються, забезпечуючи доступ води і повітря до коріння рослин, створюють сприятливі умови для активного розмноження мікроорганізмів, утворюючи колоїдні системи. Супіски і піски легкі в обробці, проте швидко пропускають воду, втрачаючи при цьому живильні елементи через вимивання. Тому піщані ґрунти не мають значної родючості.

Вищесказане дає лише спрощену оцінку ґрунту як агрономічного об'єкту. Якість ґрунту і його родючість визначається не тільки вмістом тонких фракцій ЕГЧ, але і їх мінеральним складом, а також умовами ґрунтоутворення. При одному і тому ж гранулометричному складі ґрунт може мати різний структурний стан, що позначиться на його родючості. Структура твердої фази ґрунту визначає структуру його порового простору. Саме пори пропускають повітря і воду, сприяють виведенню вуглекислого газу на поверхню ґрунту в атмосферу. Тому важливим є не тільки вміст тонких частинок в ґрунті і не тільки оптимальне співвідношення між пісками, глиною і мулистими фракціями.

Третім важливим чинником структури ґрунту є розмір його агрегатів. Агрегати ґрунту є злиплими ЕГЧ. Залежно від розміру структурні агрегати підрозділяються на мікро- (менше 0,25 мм), мезо- (0,25-10 мм) і макроагрегати (більше 10 мм). Найціннішими агрегатами вважаються ті, які мають середні розміри. Ґрунт, що складається з 55% і більш таких агрегатів, добре структурований. Такі агрегати є стійкими до механічного руйнування. Це дає можливість ґрунту зберігати оптимальні агрофізичні властивості, якщо будуть забезпечені сприятливі умови зволоження і забезпечено достатню кількість тепла.

С.А. Захаровим виділено декілька груп ґрунтових агрегатів. Типи агрегатів розділяють по орієнтації їх осей в ґрунтовому шарі. Формою агрегати діляться на роди і за розміром на види.

Округло-кубовидна структура агрегатів найчастіше зустрічається у верхніх горизонтах чорноземних ґрунтів. Розрізняють 7 родів цієї структури: глибиста, грудкувата, пильовата, горіховата, зерниста, конкреційна, ікр'яна. Округло-кубовидна структура характерна для агрегатів, що не мають переважаючої осі і її орієнтації в ґрунтовому шарі. Всі три розміри агрегатів приблизно рівні і не мають переважної орієнтації.

Призмovidна структура характерна для агрегатів, які витягнуті у вертикальному напрямі. Така структура властива для ілювіальних горизонтів суглинних ґрунтоутворюючих порід. Є три роди такої структури: стовповидна, призмovidна і призматична.

Плитовидна структура характерна для елювіальних ґрунтових горизонтів. Агрегати цієї структури мають витягнутий в горизонтальному напрямі розмір. Розрізняють плитчастий і лусковий рід плитовидної структури. Розміри агрегатів змінюються від дрібнозернистого або дрібнокускового (менше 1 мм) до крупноглибистого (200 мм і більш).

Якщо агрегати не стійкі до руйнування при обробці ґрунту, до випадання опадів, то вони руйнуються, подрібнюються, що приводить до ущільнення ґрунту, зниженню його порозності, погіршенню гідравлічних властивостей і можливості

пропускати повітря. Важливо, щоб агрегати були не тільки міцними і стійкими до руйнування, але і були рихлими, добре вбирали воду і легко віддавали її корінню рослин. Така міцність і гідравлічна місткість забезпечується перш за все гумусом або колоїдними частинками. Тому важко виділити в чистому вигляді вплив гранулометричного складу. Як бачимо, ґрунт представляє складний комплексний об'єкт, в якому важлива участь всіх вирішальних компонентів ґрунтоутворення.

Мезоагрегати уявляють собою губки, які вбирають вологу і забезпечують нею коріння рослин. Крупні пори між мезоагрегатами пропускають повітря і забезпечують сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів. Хороша аерація і достатня кількість вологи і тепла забезпечують сприятливі умови для розвитку рослин і високої біологічної активності ґрунту.

Погано оструктурені ґрунти уявляють собою пил або крупні глиби. Такі ґрунти не здатні вбирати достатню кількість вологи, а поверхневі стоки досягають 70-90%. При цьому відбувається ерозія ґрунту в результаті змиву дрібних пильоватих частинок. На добре оструктурених ґрунтах поверхневий стік набагато менший, а змив пильоватих частинок практично не спостерігається. У важких безструктурних ґрунтах значна кількість вологи втрачається в результаті поверхневого випаровування. При цьому рослини страждають не тільки від недоліку води, але і часто вимикають, оскільки проникність такого ґрунту мінімальна.

Існує велика кількість чинників, які відповідають за формування оптимальної структури ґрунту. Група фізичних чинників включає такі процеси як випаровування вологи і її вбирання, замерзання і відтавання вологого ґрунту, механічний тиск коріння рослин, механічне спущення ґрунту тваринами макрофауни і виконавськими органами сільськогосподарських машин. За сприятливих умов вказані чинники можуть формувати оптимальну структуру ґрунту. Так встановлено, що найкраща структура ґрунту створюється при його механічній обробці у вологому стані, коли його вогкість складає 90% від повної вологоємності.

Група фізико-хімічних чинників включає колоїди, які мають склеюючу дію на ґрунтові частинки. Найміцніша коагуляція ґрунтових частинок виникає під дією катіонів кальцію, магнію, заліза і алюмінію. Саме тому чорноземи містять максимальну кількість кальцію у вигляді його гуматів. При насиченні водою колоїди залишаються стійкими і ґрунт здатний відновлювати свою структуру після підсихання. Катіони натрію не створюють таких стійких колоїдних систем, які розпадаються при змочуванні. Найбільше значення для структури ґрунту мають мінеральні колоїди, що містять мінерали монтморіллонітової групи (тонкі глини), гідроксиди заліза і алюмінію. Не дивлячись на те, що органічні колоїди за об'ємом в ґрунті займають набагато менше місця, ніж мінеральні, перші створюють найміцнішу водостійку структуру і тому найбільш цінні для ґрунту. Тобто органічні колоїди, з яких складається гумус, виконують не тільки важливу активну роль для розвитку мікроорганізмів, але і надають структуруючу необоротну дію, що забезпечує стабільність ґрунтів.

До хімічних чинників відносять деякі з'єднання (зокрема заліза), які розчиняючись потрапляють в ґрунт, а потім утворюють нерозчинні осадки, що цементують ґрунтові агрегати.

До органічної групи структуроутворюючих чинників відносять рослинність і живі організми. Головну роль виконують багаторічні трави, які завдяки розвиненій кореневій системі створюють умови для накопичення органічного гумусу і колоїдних систем на основі катіонів кальцію, що надають максимальну склеюючу дію на агрегати ґрунту. Особливу роль в структуроутворенні ґрунтів виконують дощові черв'яки, що переробляють ґрунт і викидають його у вигляді копролітів, стійких до розмокання.

У ґрунтознавстві сформувався окремий науковий напрям, який займається дослідженням мікробудови ґрунтових агрегатів. Основи цього напрямку закладені В. Кубієной. На рис. 3.3 показана схема дослідження мікроагрегатів під мікроскопом. На ділянці суші виділяють місце для взяття проби ґрунту. Потім її обробляють і виготовляють тонкий шліф для просвічування на оптичному

мікроскопі. В даний час репліки мікрочастинок досліджуються також за допомогою скануючих мікроскопів. Зразки для цих досліджень готують іншим способом шляхом напилення частинок золота на поверхню зразка. Потім зразок поміщають під мікроскоп і досліджують його структуру і колірну гамму. Оптичні мікроскопи просвічують шліфи в звичному або поляризованому світлі. На рис. 3.3,а показаний вид шліфа при звичайному світлі, а на фрагментах 3.3, в-с приведені приклади просвічування шліфів в поляризованому світлі. Поляризація світла дає можливість виділити окремі мікроструктури шліфа, які вибірково заломлюють поляризовану в даному напрямі хвилю світла. Це дозволяє одержати набагато більше інформацію про будову ґрунтових частинок.

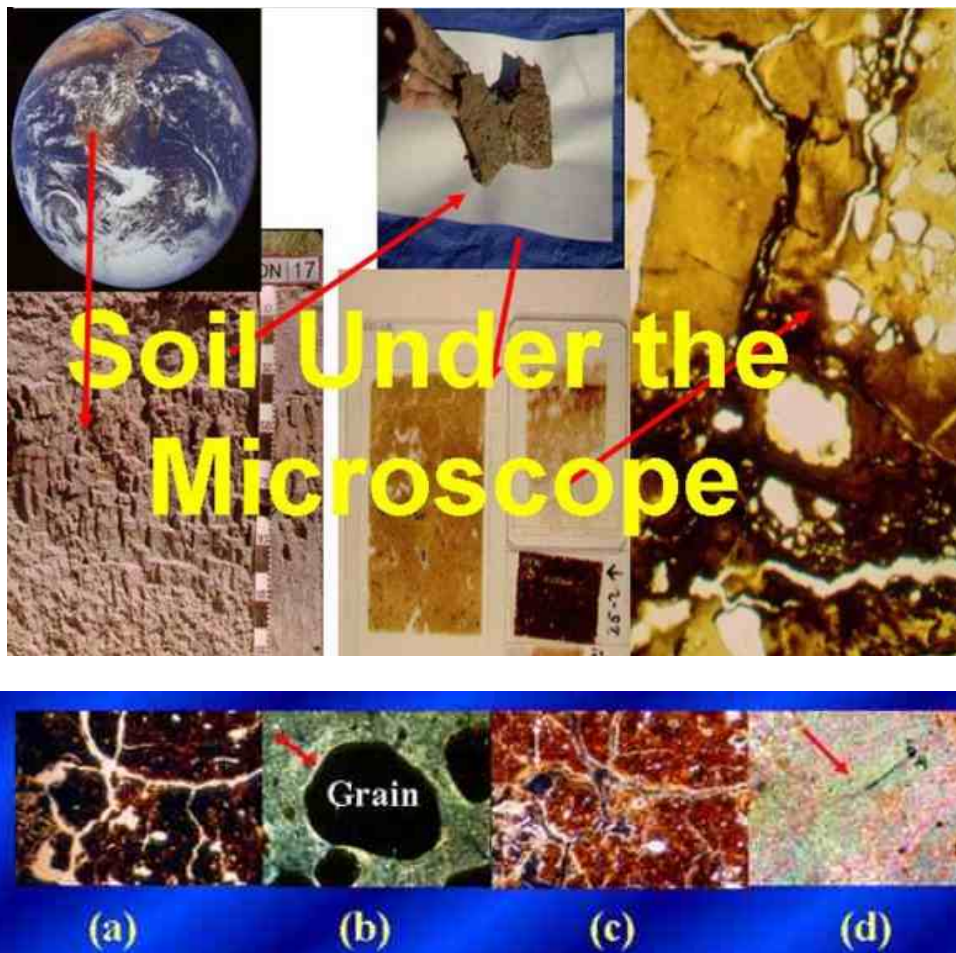


Рис. 3.3. Мікроструктура ґрунтового агрегату

Мікрочастинки ґрунту складаються з матриці і плазми. Матриця представлена твердими зернами ґрунтоутворюючих мінералів, які створюють міцний скелет мікроагрегату. Плазма представлена рухомих матеріалом, перш за все глинистими частинками, гумусом, колоїдами, які здатні переміщатися в зазорах між зернами матриці. Якщо макро- і мезоагрегати ґрунту характеризуються відносно однорідною будовою, то мікроагрегати мають виражену мікрозональність. Вона виражається в нерівномірному розподілі складаючих компонентів, їх кольору і фактури. Мікрозональна може виявлятися в нерівномірному розподілі пір, гумусу, з'єднань заліза, зерен кварцу,

Властивості мікрочастинок, що складають мікроагрегат, істотно розрізняються, причому поріг відмінності полягає в їх розмірі. Так, частинки розміром менше 0,001 мм міняють свою поведінку в мікроагрегатах через схильність до утворення колоїдних систем. Ці частинки формують плазму з високою поглинальною здатністю, яка обумовлена високою питомою поверхнею самих частинок. Питома поверхня частинок розміром 0,002-2 мм складає біля 2000-20 см²/г, тоді як зменшення розміру мікрочастинок на порядок приводить до різкого зростання питомої поверхні на два-три порядки.

3.3. Густинні і фізико-механічні властивості ґрунту

У практичній діяльності перш за все виникає необхідність вивчення густих властивостей ґрунтів. До них відносяться густина твердої фази, об'ємна вага або густина складання і пористість. У загальному випадку ґрунт складається з чотирьох фаз: твердої, рідкої, газоподібної і живої. Маса одиниці чистого об'єму твердої і живої фази без урахування пор є її густиною.

Звичайно густину ґрунту визначають пікнометричним методом. При цьому визначають густину складання ґрунту в природному стані і густину її твердої фази. Чим важчі мінерали, що становлять тверду фазу, і чим менше органічної речовини в ґрунті, тим вище густина її твердої фази. В цілому більшість мінеральних ґрунтів має густину твердої фази рівну 2,4-2,7 г/см³. Торф'яні ґрунти

складені більшою мірою органічними залишками і тому густина їх твердої фази менше і складає 1,4-1,8 г/см³.

Густина складання ґрунтів визначається взаємним положенням окремих агрегатів, що складають даний ґрунт в його природному стані. Як густину складання приймають масу одиниці об'єму абсолютно сухого зразка ґрунту в природному складанні. Густина складання мінеральних ґрунтів змінюється в межах 0,9-1,8 г/см³, у торф'яних 0,4-1,15 г/см³. Даний показник змінюється залежно від водонасиченості, гранулометричного складу, механічної обробки ґрунту і багатьох інших чинників. Оптимальна густина ґрунту для більшості сільськогосподарських культур складає 1,0-1,2 г/см³.

Від густини складання ґрунту залежать його гідравлічні, повітряні і теплові властивості, що зрештою визначає родючість ґрунту. Найефективнішими екологічними способами зменшення густини складання ґрунтів є їх глибоке спущення і внесення органічних добрив.

Сумарний об'єм пор в ґрунті називається пористістю або порозністю. Саме пористість забезпечує здатність ґрунту поглинати вологу і проводити повітря, забезпечуючи умови для активної життєдіяльності мікроорганізмів. Загальна пористість визначається по формулі

$$P_{\text{заг}} = (1 - \rho_{\text{ск}} / \rho) * 100,$$

де $\rho_{\text{ск}}$ і ρ відповідно густина складання і густина твердої фази.

Пори розділяють по відношенню до рухливості в них вологи. Як правило, вода вільно стікає під власною вагою нижче за ґрунтовий профіль через пори, що утворюються між ґрунтовими агрегатами. Така вода втрачається і, крім того, вимиває живильні елементи. Усередині агрегатів пори достатньо тонкі, внаслідок чого вода затримується в них за рахунок капілярних сил. Таким чином, в ґрунті

частина пор, як правило, крупних зайнято повітрям, а дрібні пори, що залишилися, вологою.

Об'єм пор, зайнятих вологою обчислюється згідно формулі

$$P_v = p_{ск} B,$$

де B - вогкість ґрунту, %.

Різниця між загальною пористістю і пористістю, зайнятою водою, дає пористість аерації.

Енергоємність механічної обробки ґрунтів і терміни проведення такої обробки істотно залежать від таких фізико-механічних властивостей як пластичність, клейкість, зв'язність, твердість, опір при обробці, набухання і усадка.

Пластичність ґрунту виявляється в здатності необоротно змінювати форму без розриву сплошності і утворення тріщин при механічних навантаженнях. Пластичність залежить від наявності в ґрунті мулистих і глинистих частинок і наявністю навколо цих частинок водної оболонки. Сухий ґрунт кришиться і є крихким на відміну від пластичної поведінки вологих глинистих ґрунтів.

Розрізняють верхню і нижню межі пластичності. Вони визначаються або спеціальним приладом, або простішими методами утворення риски і розкочування. Верхня межа пластичності ґрунту рівна його вогкості, при якій ґрунт ще зберігає ознаки твердого тіла, а риска (межа), що проведена в тонкому шарі ґрунту, не запливає під власною вагою з перебігом певного відрізка часу. Нижня межа пластичності відповідає вогкості, при яких ґрунт ще може розкочуватися в шнур діаметром 3 мм без кришення і розсипи. Різниця між верхньою і нижньою межею називається числом пластичності. Чим більше це число, тим в ширших межах вогкості ґрунт проявляє пластичні властивості.

Глинисті ґрунти мають число пластичності більше 17%. Число пластичності у суглинків змінюється від 7 до 17%, у піщаних ґрунтах воно менше 7%.

Нижню межу пластичності використовують для характеристики колоїдної активності ґрунту K_a :

$$K_a = P_n / M_m,$$

де P_n – нижня межа пластичності, M_m – вміст мулистої фракції в ґрунті, %.

Чим більше гумусу в ґрунті, тим при вищій вологості настає нижня межа пластичності, що дозволяє в більш ранні терміни обробляти ґрунт у весняний період. Гумусні частинки, будучи колоїдами, зв'язують воду і акумулюють її до гірших часів. У міру висушування ґрунту в посушливі періоди гумус віддає накопичену воду рослинам і забезпечує їх стійкість до засух.

Клейкість ґрунту має дуже важливе значення при його механічній обробці. Чим вище клейкість ґрунту, тим важче його обробка. Клейкість визначається по питомому зусиллю відриву пластини від ґрунту і вимірюється в Н/м². Із збільшенням кількості тонких частинок в ґрунті і органічної речовини клейкість його збільшується. Згідно з роботами М.О. Качинського гранично в'язкі ґрунти мають клейкість більше 1,5 КПа, слабо в'язкі знижують величину клейкості до 0,2 КПа.

При насиченні ґрунту вологою відбувається її набухання. Величина набухання вимірюється як різниця об'ємів після обводнення і абсолютно сухого ґрунту, віднесена до об'єму сухого ґрунту. Набухання ґрунту відбувається при адсорбції води і гідратації обмінних катіонів. Ступінь набухання ґрунту залежить від вмісту глинистих мінералів і гумусу. Сильно набухають солонцеві ґрунти, що містять багато катіонів натрію. В цілому набухання ґрунту вважається негативною ознакою, оскільки воно приводить до втрати структурності ґрунту через зменшення зазорів між окремими ґрунтовими агрегатами.

Усадка ґрунту є протилежною властивістю набуханню. Велика усадка ґрунту відбувається при його висиханні, що приводить до утворення тріщин і розриву кореневої системи.

Зв'язність ґрунту обумовлена зчепленням частинок, яке перешкоджає їх роз'єднанню. Завдяки цій властивості окремі ґрунтові частинки склеюються в агрегати, які тим стійкіше, чим вища величина зв'язності. Зв'язність ґрунту може бути визначена на зсувному приладі. На ньому визначають граничну напругу зрушення при різних рівнях нормального тиску. При цьому напруги чистого зрушення визначають зв'язність ґрунту. Чим більше глинистих частинок містить ґрунт, тим вище його зв'язність. Зв'язність ґрунту збільшується по мірі його висихання і досягає максимуму при вогкості зав'ядання рослин. Зв'язність оструктурених ґрунтів менше ніж у безструктурних.

Твердість ґрунту виявляється у вигляді опору упродовженню в ґрунт інструментів, наприклад пуансона. Твердість ґрунту прямо визначає знос виконавських органів устаткування, яким обробляють ґрунт. Чим більше твердість ґрунту, тим більше його питомий опір при механічній обробці. Цей опір витрачається при оранні на підрізування орного шару ґрунту, його перевертання і тертя. Питомий опір ґрунту змінюється в межах від 20 до 120 КПа і визначається гранулометричним складом, вогкістю, густиною складання, твердістю. Добре оструктуренні ґрунти мають менший питомий опір, оскільки леміш прорізає такий ґрунт уздовж відокремленостей, що утворюються між ґрунтовими агрегатами.

3.4. Теплові властивості ґрунту

Напря́м і інтенсивність ґрунтоутворюючих процесів визначається тепловими властивостями ґрунту. Тепловий режим ґрунтів визначає тривалість вегетаційного періоду рослин, їх видовий склад, продуктивність рослинного покриву, водний і повітряний режими ґрунту, чисельність і активність організмів, що мешкають в ньому, інтенсивність фізико-хімічних реакцій, темпи

вивітрювання гірських порід. Як вказувалося в першому розділі, джерелами теплової енергії в ґрунті є промениста енергія сонця, радіація атмосфери, тепло, що йде з надр Землі, енергія, що виділяється при розкладанні рослинних залишків, радіоактивний розпад. Лише близько 50% променистої енергії Сонця досягає ґрунту і поглинається ним. Частина енергії віддзеркалюється (розсівається) в атмосферу, частка, що залишилася, передається в нижні горизонти ґрунту. Залежно від балансу теплової енергії (поглинання-віддзеркалення) ґрунт може нагріватися або охолоджуватися. Кількість сонячної енергії, поглинальної ґрунтом, визначається ґрунтово-кліматичною зоною, погодними умовами, особливостями рельєфу, експозицією схилів, наявністю рослинного покриву, кольором ґрунту, його фізичними і тепловими властивостями.

Теплопоглинальна або тепловіддзеркалювана здатність ґрунту визначає інтенсивність поглинання теплової енергії Сонця. Величина відображеної короткохвильової радіації, виражена у відсотках від її загальної кількості, що досягає поверхні землі, називається альбедо. Отже, чим вище альбедо, тим більше вона віддзеркалює енергії і менше нагрівається. Із збільшенням вологості ґрунту і його питомої поверхні альбедо знижується. Проте величина альбедо найістотніше залежить від забарвлення ґрунту. Чорнозем має типову величину альбедо 10%, тоді як сірозем сухий збільшує своє альбедо до 25-30%, а піщані світлі ґрунти підвищують своє значення альбедо до 40% і більш.

Теплоємність ґрунту визначається його здатністю поглинати тепло. Питома теплоємність ґрунту характеризується кількістю тепла в Джоулях, яке необхідне витратити, щоб нагріти одиницю маси сухого ґрунту на 1 градус. Розрізняють також об'ємну теплоємність, яка визначається з розрахунку на одиницю об'єму і часто застосовується в ґрунтознавстві. Об'ємна теплоємність пов'язана з питомою таким чином:

$$T_o = T p_{ск} .$$

Тут T_0 і T – об'ємна і питома теплоємності, відповідно.

Теплоємність ґрунту залежить від гранулометричного складу ґрунту, його вогкості, вмісту органічної речовини, повітря. Із зростанням вогкості істотно збільшується теплоємність ґрунту. Глинисті ґрунти називають холодними, оскільки вони нагріваються повільніше, тоді як піщані нагріваються відносно швидко і іменуються тому теплими. Вологі ґрунти нагріваються і остигають повільніше у зв'язку з високою питомою теплоємністю води, яка приблизно в 4 рази вища, ніж теплоємність твердих ґрунтоутворюючих мінералів.

Теплообмін між ґрунтовими шарами відбувається завдяки теплопровідності. Передавання тепла від більш нагрітої ділянки ґрунту до менш нагрітої відбувається під дією перепаду температур. Одиницею вимірювання коефіцієнта теплопровідності є Дж/(м*с*град). Теплопровідність повітря на два порядки менше, ніж теплопровідність твердих ґрунтоутворюючих мінералів. Це є причиною зниження теплопровідності добре структурованих ґрунтів. Агрегати структурованих ґрунтів розділені відокремленостями, тріщинами і порами, які в основному заповнені повітрям. При заповненні цих пор в процесі водонасичення теплопровідність різко збільшується.

Важливе практичне значення мають температурні коефіцієнти, які встановлюють зв'язок між фізичними показниками (електропровідність ґрунту, об'єм, розміри тріщин і т.д.) і температурою.

Теплота змочування виділяється при змочуванні сухого ґрунту, її джерелом є зменшення вільної енергії поверхні мінералів і органічної речовини при зв'язуванні молекул води. Чим більше питома поверхня ґрунту, тим вище теплота змочування. Ефект виділення теплоти змочування необхідно враховувати при зрошуванні сільськогосподарських угідь. Для усунення ефекту перегріву рослин полив плантацій в південних районах прагнуть виконувати рано вранці або увечері. Теплоту змочування вимірюють спеціальним калориметром.

Тепловий режим ґрунту визначається сукупністю процесів надходження, перенесення, акумуляції і віддачі теплової енергії. Тепловий режим

характеризується радіаційним і тепловим балансом. Ґрунт одержує теплову енергію від прямої короткохвильової сонячної радіації і розсіяної довгохвильової радіації атмосфери. Витратна частина радіаційного балансу визначається віддзеркаленням теплової енергії ґрунтовим шаром. Як вже указувалося, радіаційний баланс визначається величиною альbedo ґрунту. Пряму сонячну радіацію вимірюють спеціальними приладами, наприклад актинометрами, віддзеркалення теплової енергії контролюють піранометрами.

Тепловий баланс ґрунту складається з показників радіаційного балансу T_b , витрат тепла на транспірування рослин і фізичне випаровування вологи T_t , турбулентний обмін з атмосферою T_a і нагрівання ґрунту T_n . При цьому:

$$T_b = T_t + T_a + T_n .$$

Майже у всіх ґрунтових зонах найбільша витрата радіаційного тепла припадає на випаровування вологи, особливо це характерно для південних районів. Для вимірювання радіаційного балансу використовують спеціальні балансоміри, які фіксують кількість падаючого і віддзеркаленого тепла за допомогою орієнтованих затемнених пластин. Помітимо, що залежно від часу доби і сезону компоненти T_a і T_n можуть міняти знак на протилежний. Так, в процесі турбулентного теплового обміну ґрунту з прилеглою атмосферою ґрунт може як охолоджуватися, так і підвищувати свою температуру.

Тепловий баланс залежить від географічного положення ділянки земної поверхні, фізичних властивостей ґрунту, його структури, наявності рослинного покриву, сезону року, часу доби, погодних умов, рельєфу, кута нахилу схилу і багатьох інших чинників. Так, забарвлення ґрунту істотно змінює його альbedo. Ясно, що гумусні ґрунти, маючи темний колір, нагріваються сильніше, що приводить до активізації мікроорганізмів, розкладання рослинних залишків і збільшення кількості живильних речовин. Це в свою чергу інтенсифікує приріст біомаси, яка регулює тепловий і водний режим ґрунту, знижуючи перепади

температури. Як бачимо фізичні, геологічні і біологічні чинники тісно взаємодіють, створюючи складний зворотний зв'язок між собою. Протягом доби коливання температури ґрунту розрізняється по глибині. Залежно від властивостей ґрунту добова температура істотно змінюється лише у верхніх шарах ґрунту на глибині 35-100 см. У глибших шарах температура міняється тільки по сезонах.

У літні місяці інтегральний потік тепла рухається від верхніх шарів ґрунту до нижніх, в зимові навпаки, ювенальне тепло підіймається знизу, прогріваючи шари ґрунту і їх температура на глибині 20 см вже помітно вища, ніж температура повітря. Взагалі теплові потоки в ґрунтових шарах є найдинамічнішими, тому тепловий баланс практично весь час є нерівноважним, тобто баланс існує в даний момент і міняється протягом доби, сезонів і років.

Замерзання ґрунту відбувається при температурі $-0,1-1,5^{\circ}\text{C}$, оскільки волога в ґрунті міститься у вигляді сольових розчинів. Крім того, зв'язана вода замерзає при температурі на декілька градусів нижче за нуль. Під покривом снігу глибина промерзання ґрунту зменшується, що сприятливо позначається на життєдіяльності організмів і кореневої системи рослин. Рослини затримують сніг, створюючи для себе захисний тепловий шар, товщина якого також збільшується в пониженнях рельєфу. Опуклий рельєф земної поверхні сприяє здуванню снігу, що збільшує глибину промерзання.

В умовах України теплозабезпеченість ґрунту є вище середньої. Сума активних температур на глибині 0,2 м перевищує 3000° , що забезпечує хороші теплові умови для розвитку рослин. Активною температурою вважається величина 10° і вище, коли створюються умови для сприятливого розвитку мікроорганізмів і рослин.

Існують штучні прийоми поліпшення теплового балансу ґрунту. Одним з екологічних прийомів є мульчування ґрунту. Якщо застосовується темний рослинний матеріал (солома, торф, тирса), поглинальна здатність ґрунту зростає і його температура підвищується. Мульчуючий матеріал має комплексну дію,

наприклад, зменшує випаровування вологи, регулює газовий баланс, створює сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів.

Рослинний покрив у вигляді лісонасаджень, багаторічних трав змінює мікроклімат місцевості, уповільнюючи інтенсивність обміну ґрунтового повітря з атмосферою, знижуючи добові перепади температури, накопичуючи сніг в зимові періоди.

Спушення ґрунту знижує його теплопровідність, накопчення - збільшує. Такі прийоми використовуються для регулювання теплового балансу ґрунтів в сільському господарстві. Органічні добрива є також екологічним і ефективним регулятором теплового балансу ґрунту. При розкладанні гною виділяється тепло, яке поглинається ґрунтом.

3.5. Забарвлення ґрунтів

За кольором ґрунтових шарів в профілі досвідчені ґрунтознавці визначають тип ґрунту і дають достовірну оцінку його деяких фізичних і агрономічних характеристик. Темний колір ґрунту свідчить про те, що в ньому міститься значна кількість гуматних кислот, які створюють найстійкіший і цінніший гумус. Фульвокислоти формують менш стійкий гумус, який має світлі відтінки. Темне забарвлення ґрунтів створюється також високим вмістом глини монтморіллонітового складу. Темний відтінок ґрунту додають деякі сульфідні, гідроксиди заліза і марганцю.

На рис. 3.4 приведені характерні профілі 12 основних типів ґрунтів згідно до американської класифікації. Як бачимо, відтінки ґрунту міняються від майже чорного до практично білого. Біле забарвлення ґрунтів породжується присутністю таких речовин і мінералів, як кварц, гіпс, каолінит, розчинні солі. Польові шпати також додають світле забарвлення ґрунтовим шарам.

Оксиди заліза створюють ґрунтам червоне забарвлення. При цьому ступінь насиченості червоного відтінку визначається інтенсивністю окислення

грунтоутворюючих мінералів. Особливо високий ступінь окисненості ґрунтових шарів виникає при їх дренаванні і подальшому доступу повітря.



Рис. 3.4. Приклади ґрунтових профілей та їх відтінки

Гідроокиси і сульфати заліза додають жовте забарвлення ґрунтовим горизонтам, оксиди марганцю - синюватий і пурпурний відтінок. З'єднання двовалентного заліза можуть додавати різні відтінки холодних тонів (синюваті, зелені, сизі). Було встановлено, що будь-яке забарвлення ґрунту можуть додавати комбінації гідроокисів заліза (червоний колір), оксидів кремнію, алюмінію, а також карбонату кальцію (білий колір) і гумусу (чорний колір). Слід мати на увазі, що видиме оку забарвлення ґрунтів в більшості випадків створюється плівками оксидів, солей і гумусу, які обволікають первинні мінеральні зерна. Після вилуговування, вимивання або розчинення плівок ґрунт часто міняє колір, придбаваючи білястий відтінок, характерний для кварцу або польового шпату.

3.6. Деформаційні і реологічні властивості ґрунтів

Однією з головних властивостей ґрунту і ґрунтових матеріалів є їх стисливість під дією зовнішнього навантаження або навантаження від дії власної ваги. Особливо яскраво ця властивість виявляється при використуванні важкої сільськогосподарської техніки. При ущільненні ґрунтів погіршується їх структура, зменшується пористість, змінюються в гіршу сторону фізичні властивості.

Стисливість ґрунтів визначається на основі компресійних характеристик, які одержують при різному нормальному тиску на ґрунт. На рис. 3.5 показаний приклад консолідаційної кривої зразка глинистого ґрунту, яка одержана при нормальному тиску на зразок, рівному 0,1 МПа.

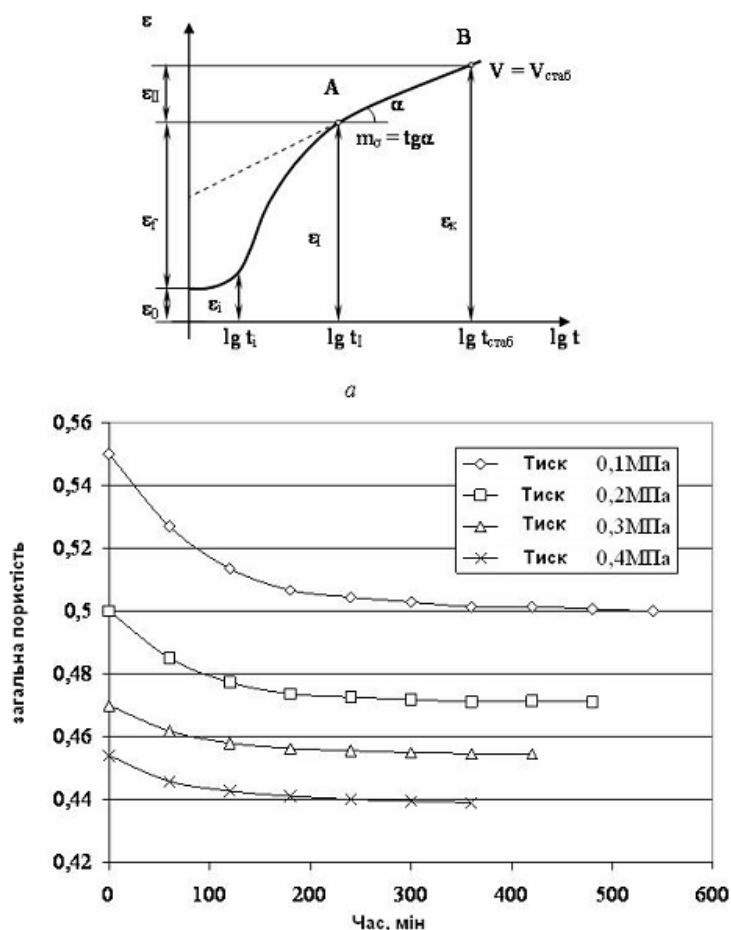


Рис. 3.5. Загальний вигляд консолідаційної характеристики *a* та для глинистого ґрунтового зразка *б* при різному тиску.

Відразу після навантаження зразка його деформація стиснення і зменшення об'єму різко збільшується. З часом швидкість стиснення зразка і зменшення його пористості сповільнюється. При цьому зразок, як правило, стискається в умовах повного водонасичення. Вода в процесі стиснення зразка видавлюється через пористу підкладку. Уповільнення швидкості стиснення ґрунту відбувається тому, що пори в процесі ущільнення зменшуються, площа контакту пор збільшується, внаслідок чого зразок приходить в рівновагу з тим зовнішнім навантаженням, яке до нього прикладене на початку випробувань. Випробування консолідації зразка при поточному нормальному навантаженні продовжується до тих пір, поки швидкість ущільнення помітна. Після стабілізації деформації ущільнення експеримент закінчується, і починається новий при більшому ступені навантаження.

Як правило, випробування зразка виконують при декількох (5-10) ступенях навантаження, одержуючи стільки ж консолідаційних кривих. Компресійну криву будують по результатах консолідаційних випробувань в координатах „нормальне навантаження стиснення - кінцева пористість зразка” на кожному ступені навантаження (рис. 3.6). Одержану компресійну криву використовують для визначення коефіцієнтів компресії, модуля деформації зразка. Оскільки компресійна крива має затухаючий вигляд (описується логарифмічною кривою), коефіцієнт компресії визначається як дотична в певній крапці і залежить від нормальної напруги стиснення. Компресійна крива використовується для практичного визначення схильності ґрунту до ущільнення сільськогосподарською технікою.

З одного боку висока пористість ґрунту корисна, оскільки вона відповідає хорошій структурі ґрунту, дозволяє аерувати його повітрям і забезпечує високу вологоємність. Проте, чим більше початкова пористість перед обробкою, тим сильніше стискається ґрунт в результаті укочування важкою технікою. У результаті ґрунт погіршує свої властивості, з чим необхідно боротися. Високій стисливості сприяє великий вміст глинистих мінералів в ґрунті і гумусної

речовини. Компресія ґрунту є необоротним процесом і в результаті багатократного проходу техніки по полю пористість ґрунтів циклічно зменшується. Компресійні криві при циклічному навантаженні утворюють петлі гістерезису деформації стиснення, внаслідок чого ця деформація накопичується. Це негативний чинник, який погіршує властивості ґрунтів і знижує їх родючість.

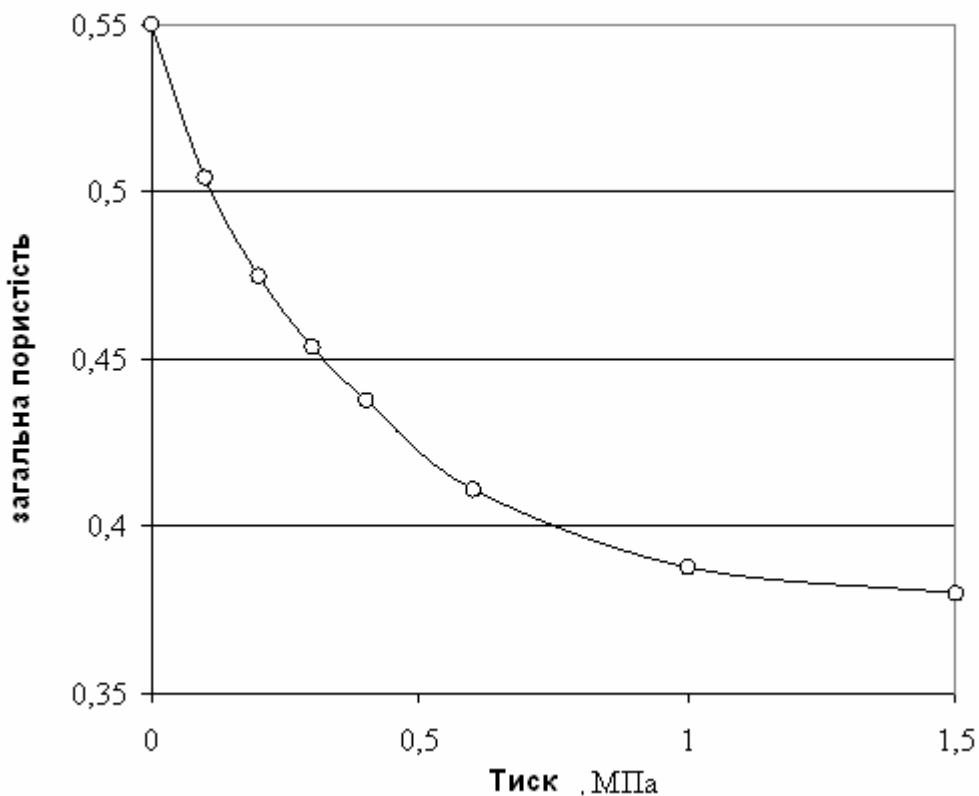


Рис. 3.6. Зразок компресійної кривої для глиняного ґрунту

Різновидом компресії ґрунту є його просідання в зоні поливу або зрошування. Ґрунт стискається під дією власної ваги в результаті збільшення вогкості і зміни фізико-хімічного стану агрегатних частинок, перш за все за рахунок зрідження і рухливості глинистих частинок і гумусу. Особливо значні просідання льоссових ґрунтів, які мають високу пористість і створюють степові блюдця після зрошування.

Реологічні властивості ґрунтів виявляються в їх здатності до прояви деформацій повзучості в часі при постійному навантаженні. Повзучість ґрунту

тісно пов'язана з його пластичними властивостями. Чим вище число пластичності ґрунту, тим більше його схильність до повзучості. Повзучість представляє небезпеку з погляду ерозії ґрунту на схилах. В результаті розвитку обвалів в межах території України необоротно зникає цінний родючий ґрунт. Перш за все такі процеси розвиваються в передгірських і гірських районах Карпат і Криму. Проте, обвали часто відбуваються на глинистих схилах балок, річок і водоймищ. Обвальні процеси розвиваються в межах України в основному від дії інтенсивних опадів у весняні періоди.

3.7. Радіоактивність ґрунтів

Присутність в ґрунті розсіяних радіоактивних елементів обумовлює його радіоактивність. Ступінь радіоактивності вимірюють в бекерелях, один бекерель еквівалентний одному розпаду в секунду. Використовують також спеціальну одиницю для інтенсивного прояву радіоактивності, рівної кюрі ($3,7 \cdot 10^{10}$ Бк). Розрізняють первинні радіоактивні елементи, що потрапили в ґрунт з мінералами первинної материнської породи і вторинні, що утворилися під дією космогонічних чинників. В даний час виділені також джерела радіоактивності антропогенного характеру, які доповнюють вторинні елементи. Середня активність ґрунтів складає 1000 Бк/кг, хоча залежно від регіонів ця величина істотно варіює.

Радіоактивність ґрунтів є в даний час значною екологічною небезпекою. Перш за все продукти рослинництва, вирощені на радіоактивних ґрунтах, небезпечні для вживання. Крім того ґрунти, що містять підвищену кількість радіоактивних ізотопів, є джерелом забруднення навколишнього середовища. Вказані радіоактивні елементи видуються вітром або переносяться ґрунтовими водами, поширюючи забруднення на велику відстань. Вже створені карти радіоактивного забруднення ґрунтів України. Доведено, що багато промислових міст мають великі площі парків, скверів, в яких ґрунт містить неприпустимо великі концентрації радіоактивних елементів, що потрапили в нього у вигляді

димових викидів металургійних підприємств і інших промислових об'єктів. Показано, що тривале мешкання людей в таких зонах негативно позначається на їх здоров'ї, знижуючи імунну систему, ушкоджуючи травні тракти, загострюючи серцево-судинні захворювання.

3.8. Підсумки розділу

1. Грунт складається з елементарних ґрунтових частинок (ЕГЧ), які об'єднуючись в агрегати, формують його структуру, сприятливу для розвитку рослин. Структура ґрунту визначає багато властивостей ґрунту, і перш за все його вологоємність, проникність, пористість, теплоємність і теплопровідність, що визначає його родючість, яка тим більше, чим вища здатність ґрунту накопичувати вологу, тепло і проводити повітря. Більшість активних біологічних процесів розкладання органічних залишків, окислювально-відновні реакції і процеси перетворення живильних речовин, розмноження мікроорганізмів протікають на межах розділу окремих агрегатів або елементарних ґрунтових частинок.

2. Залежно від розміру ЕГЧ розділяють на три основні типи: глинисті, пильоваті і піщані. Процентний вміст окремих фракцій характеризується гранулометричним складом. В результаті злипання глинистих частинок і гумусної колоїдної речовини формуються ґрунтові агрегати різної форми і розмірів. Агрегати середніх розмірів (0,25-10 мм в поперечнику) або мезоагрегати є найціннішими з погляду родючості ґрунту і його стійкості до руйнування при дії вологи і ґрунтооброблюючого устаткування. Пори усередині мезоагрегатів накопичують і утримують капілярну вологу, а тріщини і зазори між агрегатами сприяють аерації ґрунтів і виведенню вуглекислого газу.

3. Погано оструктурені ґрунти втрачають вологу у вигляді поверхневого змиву або в нижні ґрунтові горизонти, внаслідок чого розвивається ерозія ґрунтів і вимивання живильних речовин.

Оструктурювання ґрунту протікає під дією фізичних чинників (випаровування вологи, набухання, висихання ґрунту, тиск коріння рослин), фізико-хімічних (склеююча і стабілізуюча дія колоїдних систем), хімічних (розчинення і утворення нерозчинних осадів солей) і біологічних (діяльність рослинності і мікроорганізмів).

4. Мікробудова ґрунтових агрегатів досліджується мікроскопією і характеризується мікрональністю або нерівномірністю розподілу скелетних твердих частинок і плазми або рухомої цементуючої ґрунт речовини. Частинки діаметром менше 0,001 мм виконують особливу роль в агрегуванні ґрунтів, оскільки їх питома поверхня на порядки більше, ніж у крупних частинок.

5. До основних густинних властивостей ґрунтів відноситься густина твердої фази, пористість і густина складання ґрунту в природному стані. Основні пластичні властивості ґрунтів характеризуються верхньою і нижньою межами пластичності і числом пластичності.

З агрономічної точки зору важливі такі властивості ґрунтів як клейкість, твердість, зв'язність, питомий опір, що визначають енергоємність механічної обробки ґрунтів, а також набухаємість і усадка, які регулюють процес структуризації ґрунту.

6. Тепловий режим ґрунтів визначає тривалість вегетаційного періоду рослин, їх видовий склад, продуктивність рослинного покриву, водний і повітряний режими ґрунту, чисельність і активність організмів, що мешкають в ньому, інтенсивність фізико-хімічних реакцій, темпи вивітрювання гірських порід. Основними тепловими властивостями ґрунту є теплоємність і теплопровідність. Добова, сезонна і річна зміна температури ґрунту регулюється тепловим балансом, який знаходиться в стані динамічної рівноваги.

7. Забарвлення ґрунтів визначається в значній мірі кольором плівок оксидів (перш за все заліза) і гумусу, які покривають первинні мінерали материнської породи, з якої складається ґрунт.

8. Стисливість ґрунтів є найважливішим показником, що визначає його структуру і основні фізико-механічні властивості. Стисливість оцінюється по

компресійній кривій, яка будується на підставі обробки даних консолидаційних випробувань.

9. Повзучість ґрунту є похідною пластичних властивостей і важлива при оцінці схильності ґрунту до ерозії у вигляді обвалів.

10. Радіоактивність ґрунтів має важливу роль в забезпеченні безпечних продуктів харчування і створення сприятливої екологічної обстановки.

Питання для самоперевірки

1. Чим є елементарна частинка?
2. Поясніть співвідношення між ЕГЧ, агрегатом і структурою?
3. Як впливає структура ґрунту на його основні фізичні і механічні властивості?
4. Поясніть важливість меж між ґрунтовими агрегатами?
5. Перерахуйте основні типи ґрунтів по їх гранулометричному складу і поясніть принципи розподілу?
6. Поясніть роль мезоагрегатів в ґрунтовій структурі.
7. Як зв'язана структура ґрунту з поверхневою ерозією?
8. Від чого залежить винесення живильних елементів з ґрунту?
9. Перерахуйте основні чинники, що впливають на структуру ґрунту, і поясніть характер їх впливу.
10. Який розмір елементарних ґрунтових частинок є критичним і чому?
11. Як мікроструктура ґрунту відрізняється від макроструктури? Чим це обумовлено?
12. Перерахуйте основні густинні і пластичні властивості ґрунту і поясніть їх фізичне значення.
13. Перерахуйте основні агротехнічні властивості ґрунтів і поясніть їх прикладне значення.
14. Перерахуйте основні теплові властивості ґрунту і поясніть їх фізичне значення.
15. Що таке тепловий баланс ґрунту і від чого він залежить?
16. Перерахуйте основні механічні характеристики ґрунтів.

4. ГРУНТОУТВОРЕННЯ І МІНЕРАЛОГІЯ ГРУНТІВ

4.1 Введення

Утворення ґрунтів є логічним продовженням ланцюжка геологічних процесів, що протікали мільйони років тому. Розуміння процесу ґрунтоутворення неможливе без залучення таких геологічних наук, як мінералогія, петрографія, геохімія, динамічна геологія, геотектоніка, геоморфологія, історична геологія. Процеси перетворення мінералів, вивільнення живильних речовин і вивітрювання в ґрунті виконують важливу первинну роль в накопиченні родючого шару.

Процес формування метаморфічних порід і мінералів протікає на великій глибині при високих температурах, що породжує термодинамічну нестійкість таких мінералів. У верхніх шарах літосфери ці мінерали і породи піддаються вивітрюванню, розпаду і подрібненню під дією змінної температури і вологості. Саме з таких мінералів згодом формується ґрунт. До складу літосфери входять практично всі елементи таблиці Менделєєва. Майже в тому ж складі вони присутні в ґрунті. Якнайбільше в ґрунті міститься кисню - 49%. Друге місце займає кремній, що займає 33%, алюміній складає 7,13%, залізо і кальцій - 3,8% і 1,37%, відповідно. Решта елементів займає менше відсотка в ґрунтових шарах.

В.І. Вернадський підкреслював, що ґрунт є самою густонаселеною живими організмами частиною біосфери. Все живе в ґрунтовому шарі оновлюється з дуже коротким періодом. В середньому цикл оновлення живих організмів на суші складає 14 років, більшість рослин оновлюється щорічно, а мікроорганізми змінюватимуть покоління протягом годин, а то і хвилин. Взаємодія малорухомої неживої природи (мінералів, гірських порід, клімату) і живої формує процеси ґрунтоутворення.

У ґрунті первинні мінерали, що утворилися на великій глибині при високій температурі, потрапляють в інші термодинамічні умови, внаслідок чого вони розпадаються і створюють початковий матеріал для утворення вторинних мінералів.

Декілька спрощуючи можна сказати, що самими первинними витокami ґрунту є магматичні породи, що утворилися з розплаву магми в надрах Землі. Після підняття цих порід в результаті горотворних процесів і оголення внаслідок їх вивітрювання відбувалися процеси руйнування і утворення вторинних порід, які формували клас осадкових порід. Згодом і магматичні і осадкові породи піддаються дінамо- або термометаморфізму, внаслідок чого перетворюють свій склад і структуру під дією високого тиску і температур.

4.2. Основи геологічної стадії процесу ґрунтоутворення

Руйнування і перетворення гірських порід відбувається під дією екзогенних і ендегенних геологічних процесів. Ендегенні процеси протікають усередині надр Землі і призводять до руйнування і підняття порід в результаті горотворних процесів, переміщень континентів і вікових коливань поверхні суші. Екзогенні процеси викликають руйнування нерівностей, що утворилися, опуклостей і гір в результаті протікання процесів вивітрювання.

Фізичне вивітрювання відбувається за рахунок багатократної зміни температур, вогкості, замерзання і відтавання верхніх шарів земної кори. Через різні коефіцієнти теплового розширення відбувається накопичення втомних тріщин в мінералах і їх подальше руйнування. На рівнинних ділянках вивітрілі породи утворюють рухляк – розпушену породу, здатну утворити основу для ґрунтового шару. На схилах уламки виветрелих порід сортуються і несуться потоками, внаслідок чого найтонша фракція виветрелих порід осідає на найбільшій відстані від місця вивітрювання. Ці тонкі породи називають пролювієм, вони представляють найцінніший матеріал як первинні мінерали для ґрунтоутворення.

Аналогічно відбувається хімічне вивітрювання під дією окислення, гідратації або гідролізу. Біохімічне вивітрювання є наслідком дії мікроорганізмів, наприклад лишайників, як це описано в розділі 2. Вітрові потоки повітря призводять до корозії або абразивного руйнування твердих порід потоками

дрібного піску. В результаті дефляції частинки, що вже осіли раніше, видуваються з ділянок суші і переносяться на великі відстані у вигляді запованих бурь, наприклад. Так створювався цінний ґрунтовий компонент, який зветься лессом. Лесси оздоблюють великі пустелі і мають п'ять характерних ознак: рихлість, пористість, карбонатність, пильоватість і здатність утворювати вертикальні укоси. На Україні потужність лессових відкладень складає 2-10 м, хоча в Китаї зареєстровані місця, де потужність лессових горизонтів досягає 400 м.

Ґрунтові води здатні підійматися по капілярах вгору і навіть досягати земної поверхні. Тому ґрунтові води беруть активну участь в процесі ґрунтоутворення. Вони забезпечують процеси гідратації мінералів, структуризацію ґрунтів, перенесення живильних речовин і їх розчинення.

Могутнім геологічним чинником ґрунтоутворення є текучі води, які щорічно відносять 17 млн. тонн подрібнених частинок. Ці частинки несуться в океани або переміщаються на інші ділянки суші, утворюючи накопичення для формування ґрунтового шару. Одночасно з цим текучі води мають негативний вплив на ґрунти, що вже сформувалися, відносячи ґрунтові частинки і формуючи площинну або лінійну ерозію. Особливо небезпечна лінійна ерозія, оскільки вона формує яри, що підрізають водоносні горизонти і виснажують підземні водоносні горизонти.

Річки мають руйнуючу діяльність у верхів'ях і акумулюючу в нижній частині свого стоку. Річковий алювій у вигляді тонких частинок вторинних мінералів накопичується в заплавах річок і представляє цінний ґрунтоутворюючий матеріал. Особливо цінним є суглинний алювій, який легко утворює колоїди, містить багато живильних речовин і створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, а значить і для накопичення гумусу.

Льодовикові періоди повторювалися пару десятків разів. Кожного разу при настанні льодовики руйнували і переносили уламковий матеріал у вигляді так званих морен на величезні відстані. Після відступу льодовики залишають

уламковий матеріал, а також мули і глини, які є цінним початковим матеріалом для ґрунтоутворення.

Геологічна діяльність озер і боліт приводить до накопичення цінного ґрунтоутворюючого матеріалу. У прісноводних озерах відкладався озерний алювій у вигляді тонкого матеріалу або сапропелю. У міру накопичення осадів озеро міліє, внаслідок чого утворюються цінні поклади ґрунтоутворюючого матеріалу.

4.3. Розвиток ґрунтових горизонтів

Процес ґрунтоутворення починається з моменту поселення мікроорганізмів в рухляці або вивітрілій материнській породі. Ґрунт утворюється при взаємодії двох кругообігів речовин у великому геологічному циклі і малому біологічному. На початковій стадії ґрунтоутворюючий процес поєднується з вивітрюванням. Під дією цього процесу первинна порода придбала пористість, вологоємність, утворилися вторинні мінерали. В результаті розпаду утворилася деяка кількість живильних речовин для рослин і мікроорганізмів. У міру розвитку мікроорганізмів і вимивання живильні елементи вивільнюються з первинних мінералів і поступають в круговорот біологічного циклу. Деякі учені небезпідставно вважають, що накопичення живильних речовин могло початися задовго до початку поселення живих організмів під дією геохімічних процесів. У міру розвитку мікроорганізмів і примітивних рослин геохімічний цикл поступово заміщується біологічним. Часто накопичення гумусу і формування ґрунту протікає по схемі позитивного зворотного зв'язку. Чим більше накопичується гумусу і живильних речовин, тим інтенсивніше розвиваються мікроорганізми і рослини і тим більше вони виробляють живильних речовин і гумусу.

Як указувалося в першому розділі, ґрунтоутворюючий процес протікає у вигляді кругообігу речовин і енергії через ґрунтовий педон. Згідно з А.А. Роде, в результаті протікання такого процесу перетворюються мінерали гірської породи, накопичується органічна речовина в ґрунті і відбувається його трансформація. В процесі взаємодії органічних і мінеральних речовин утворюються орґано-

мінеральні з'єднання, накопичуються у верхньому ґрунтовому шарі живильні елементи, відбувається пересування продуктів ґрунтоутворення з водою вниз за профілем, внаслідок чого він розвивається по глибині.

У міру накопичення гумусного горизонту залежно від кліматичних, гідрогеологічних умов розвиваються інші ґрунтоутворюючі процеси, такі як лесиваж, опідзолювання, оголення, торфоутворення і т.д. З часом зовнішні умови можуть змінюватися, що приводить до розвитку окремих ґрунтових горизонтів. Ці горизонти відображають пам'ять історії ґрунтоутворення в конкретних умовах. Учені намагаються відновити деталі процесу ґрунтоутворення по будові вказаних горизонтів так само як можна відновити сприятливі або посушливі роки по товщині кілець на зрізі дерева. Проте, випадок з ґрунтоутворенням є набагато складнішим і трактування історії його формування завжди носить характер вірогідності. Саме тому дотепер існують суперечливі думки і гіпотези щодо генезису окремих ґрунтових горизонтів або інших істотних деталей процесу ґрунтоутворення.

Після формування ґрунтових горизонтів починається третя стадія клімаксу, в період якого ґрунт переходить в стан динамічної рівноваги, коли приріст кількості гумусу припиняється через настання рівноваги між накопиченням і виведенням живильних речовин. Часто змінюються зовнішні умови, викликані зміною екосистеми, складною частиною якої є конкретний ґрунт, і тоді відбувається еволюція або деградація ґрунту. Результатом є зміна конфігурації ґрунтових горизонтів і профілю в цілому.

4.4. Опис горизонтів (таксономія)

Система класифікації ґрунтів іменується таксономією. В різних країнах існують різні системи класифікації, причому вони не співпадають між собою. Останнім часом створена міжнародна система класифікації ґрунтів. Міжнародна асоціація по виробництву їжі прикладає постійні зусилля для погодження систем класифікації. Проте в більшості країн свої системи вже укорінилися, увійшли до

ряду пов'язаних з ними стандартів і тепер дуже складно об'єднати системи в єдину. Так само існує міжнародна система одиниць SI, але багато країн фактично ігнорують її, не дивлячись на те, що підписали міжнародні угоди по визнанню цієї системи. З класифікацією ґрунтів справа йде набагато складніше, оскільки в класифікаціях існує багато неясних питань щодо істотних деталей ґрунтоутворення.

4.5. Глиноутворюючі мінерали і їх кристалографія

Ґрунтоутворюючі породи складаються з первинних і вторинних мінералів. Розмір первинних мінералів перевищує 0,001 мм, вторинні менші цієї величини. По кількості в ґрунті первинні мінерали переважають над вторинними. Первинні мінерали представлені в основному магматичними породами - в середньому на 60% польовими шпатами, 12% складає кварц, близько 17% - амфіболи і піроксени. Слюда і інші мінерали складають близько 10%.

Польові шпати є тривимірними безводними алюмосилікатами калію, натрію і кальцію. У основі шпатів і кварцу лежать тетраедри кремнезему, які утворюють різні типи кристалічних структур: острівних, каркасних, стрічкових, листоватих. У кремнеземних тетраедрах по кутах розміщені чотири атоми кисню, а в центрі його об'єму - атом кремнію. Кварц складається тільки з кремнезему, шпати містять домішки іонів калію, натрію і кальцію, які врівноважують заряди у вищезгаданих структурах.

Найстійкішими до вивітрювання є кристали кварцу. Польові шпати, амфіболи і слюда вивітрюється швидше, особливо при високих температурах і вологості. Первинні мінерали складають до 98% піску, від 50 до 80% їх знаходиться в суглинках і лише 10-12% в глинах, які складаються в основному з вторинних мінералів, що утворилися після розпаду первинних мінералів.

Вторинні мінерали представлені глинистими мінералами, мінералами оксидів заліза, алюмінію, марганцю і кремнію і мінералами-солями. Глинисті мінерали складають більшість глин. Вони відрізняються високою дисперсністю і

поглинальною здатністю. Саме ці мінерали є основним матеріалом для утворення колоїдних систем ґрунту. Вторинні мінерали визначають місткість поглинання ґрунтів і є основними джерелами живильних речовин для рослин.

Вторинні мінерали утворюються в результаті кристалізації з розчинів, кристалізації твердих аморфних речовин, гідролізу первинних і вторинних мінералів, утворення вторинних мінералів в гідротермальних умовах, формування мінералів при гідратації і дегідратації, ізоморфних заміщень, диспергування. Часто діє декілька чинників мінералоутворення, включаючи біологічне розкладання первинних мінералів за допомогою ферментів, що виділяються мікроорганізмами, грибами і рослинами.

Мікроструктура вторинних мінералів вивчається рентгеноструктурним методом, термографією, електронною і оптичною мікроскопією, хроматографією.

Каолініт є типовим ґрунтовим вторинним мінералом і складається з пакетів тетраедрів з атомами кремнію і пакетів октаедрів з атомами алюмінію. У центрі октаедра розміщений атом алюмінію, оточений вісьма атомами кисню (рис. 4.1). Сметітові (монтморилонітові) мінерали складаються з трьох шарів, з двома шарами тетраедрів з кремнієм всередині і між ними шаром октаедрів, усередині яких розміщені атоми алюмінію (рис. 4.2). Важливо, що пакети монтморилонітових кристалів здатні розсуватися, вбудовуючи всередину молекули води. Це визначає високу поглинальну здатність мінералу і колоїдів, які формуються на їх основі. Кристалічна будова ілліта показана на рис. 4.3. У шарах тетраедрів кремній часто заміщений іншими атомами (калію і ін.). В результаті відбувається розбалансування зарядів і виникає здатність кристалів прикріплювати до своєї поверхні безліч заряджених іонів, які виконують живильну роль для рослин. Та ж функція є і у мінералів монтморилоніту. Таким чином, глинисті мінерали каолініту не мають високу поглинальну здатність. Навпаки, мінерали монтморилоніту і ілліту здатні поглинати, а потім передавати рослинам воду і цінні живильні мікроелементи.

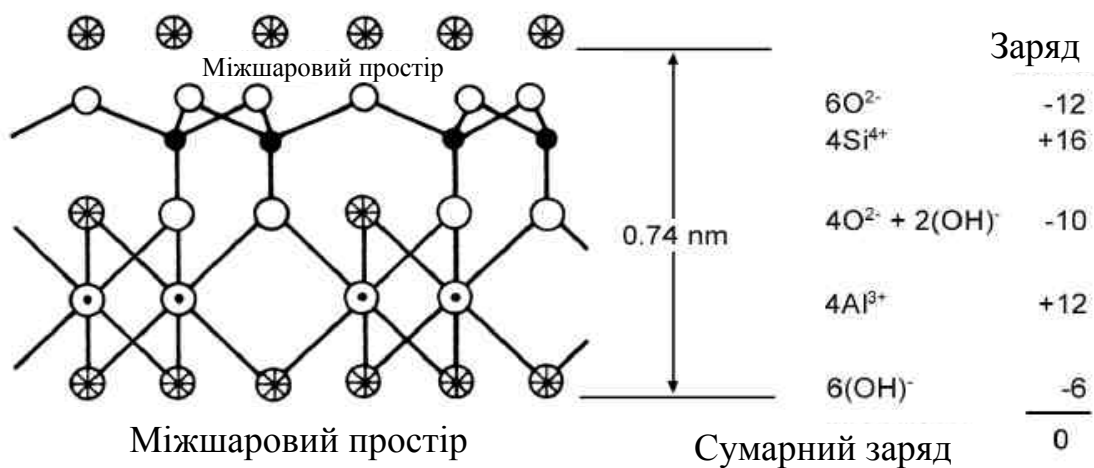


Рис. 4.1. Схема будови кристалічної решітки каолініту

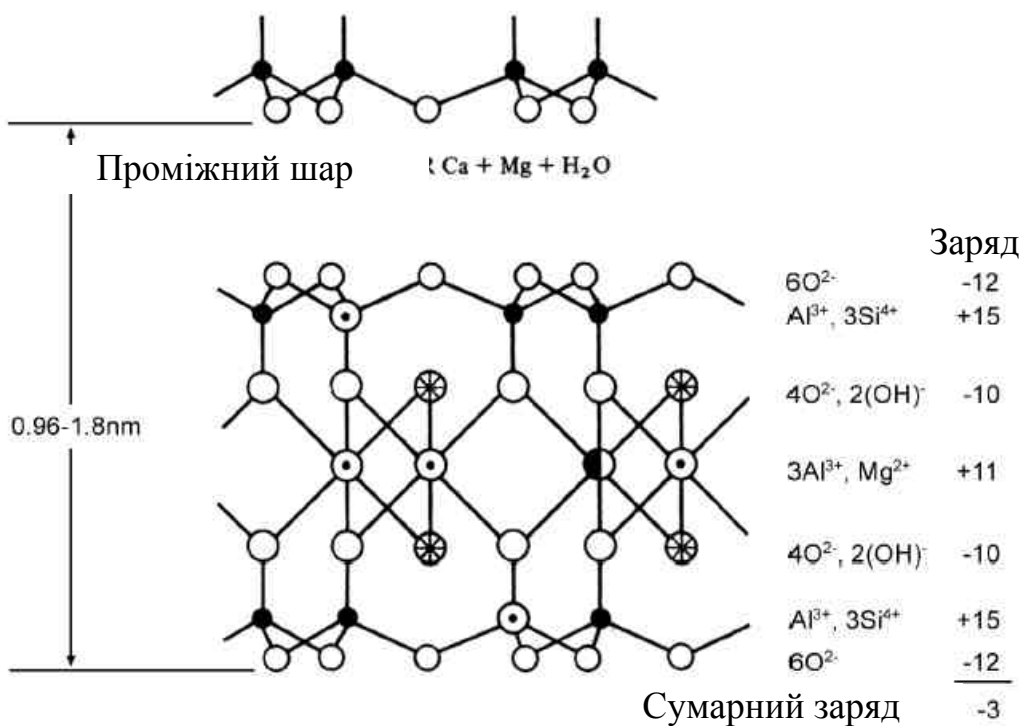


Рис. 4.2. Кристалічна решітка монтморілоніту

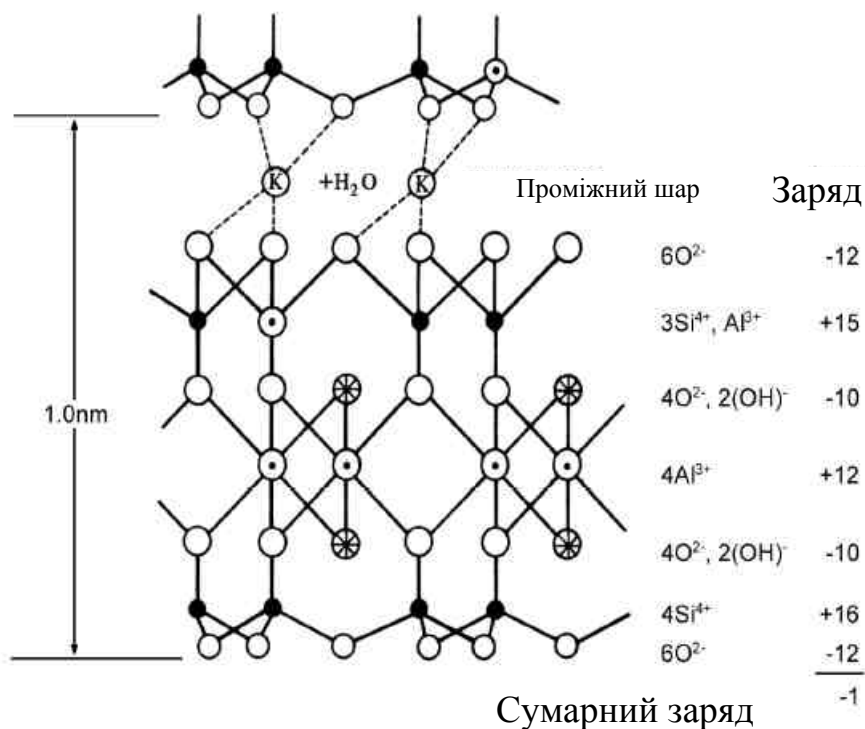


Рис. 4.3. Структура кристалічної решітки іліту

Гідрослюди також є тришаровими алюмосилікатами з решітками, що не розширюються. Проте їх поглинальна здатність в два-три рази нижче, ніж у монтморилоніту.

Мінерали оксидів і гідроксидів заліза, алюмінію і марганцю утворюються при вивітрюванні первинних мінералів і існують в аморфній формі у вигляді високодисперсних гелів, але постійно піддаються реакції дегідратації і кристалізації. Мінерали цієї групи підвищують гідрофільність гумусу, вологоємність ґрунту, їм належить важлива роль в структуроутворенні.

Нарешті, мінерали-солі, найчастіше представлені в ґрунтах гіпсом, доломітом, содою, кальцитом, магнезитом, ангідритом, здатні розчинятися, утворюючи сольові ґрунтові розчини.

Важлива роль вторинних мінералів полягає в збільшенні поглинальної здатності ґрунту і постачанні рослин живильними елементами. На додаток велика їх роль у формуванні водоміцної структури гумусу і тому вони регулюють повітряний, водний і тепловий режим ґрунтових шарів.

4.6. Підсумки розділу

1. Геологічні процеси виконали початкові стадії ґрунтоутворення. Головна дія геологічних процесів полягала в механічному подрібненні і геохімічному перетворенні первинних мінералів, з яких згодом формувалися ґрунти і з яких рослини одержували живильні елементи.

2. Подрібнення мінералів і гірських порід відбувалося під дією ендегенних і екзогенних геологічних процесів. Особливо інтенсивно перетворюються мінерали під дією фізичного і хімічного вивітрювання, діяльності вітру і ґрунтових вод. Текучі води і річки переміщують і сортують мінерали за розміром і густиною, внаслідок чого накопичуються глини, тонкі піски і мули, що є основою ґрунтоутворення. Багатократне настання і відступ льодовиків виконало велику роботу по руйнуванню первинних гірських порід, їх подрібненню, перенесенню і накопиченню тонких фракцій у вигляді стрічкових глин і суглинків. На місці стародавніх прісноводних озер утворилися цінні поклади мулів і сапропелю, насичених живильними речовинами і здатними формувати колоїдні системи.

3. З появою живих організмів і рослин в процесі ґрунтоутворення включився короткий біологічний цикл, який сприяв накопиченню гумусу і формуванню верхнього родючого горизонту ґрунту.

4. Найважливіша роль в ґрунтоутворенні належить вторинним ґрунтоутворюючим мінералам. Не дивлячись на те, що вторинні мінерали складають менше половини об'єму ґрунту, їх властивості поглинати воду і цінні живильні елементи є незамінними для розвитку рослин. На відміну від первинних мінералів кристалічні решітки вторинних організовані в пакети або шари, здатні розсуватися і вбудовувати молекули води. Крім того, в результаті заміщення атомів кремнію і алюмінію іншими елементами, кристали вторинних мінералів придбавають некомпенсовані заряди, завдяки яким приєднують до себе живильні елементи і передають їх до коріння рослин. Саме тому вторинні мінерали є основою колоїдних частинок, з яких формується стійкий гумус родючих ґрунтів.

5. По мірі накопичення гумусного верхнього горизонту ґрунту паралельно протікав ряд геохімічних процесів, перш за все під дією коливань клімату і накопичення осадів. Ці процеси трансформували ґрунт, здійснювали перенесення живильних речовин і гумусу углиб, вимивали живильні речовини, окисляли окремі елементи, внаслідок чого ґрунтовий шар диференціювався і виникали окремі ґрунтові горизонти. Так формувалися ґрунтові профілі, які відображали пам'ять ґрунтового покриву і його реакцію на процеси, що протікають.

Питання для самоперевірки

1. Яка роль геологічних процесів при формуванні ґрунтових шарів?
2. Перерахуйте основні геологічні процеси, що формують ґрунт, і поясніть механізм участі цих процесів.
3. Як взаємодіють довгий геологічний і короткий біологічний цикли?
4. Поясніть важливість вторинних мінералів в процесі ґрунтоутворення і накопичення ґрунтового шару.
5. Який механізм накопичення води вторинними мінералами?
6. За рахунок якого механізму вторинні мінерали зв'язують іони макро- і мікроелементів?
7. Дайте пояснення особливостей будови кристалічних решіток основних типів глинистих мінералів.

5. КЛАСИФІКАЦІЯ ҐРУНТІВ

5.1. Введення

Профіль ґрунту не обмежується шаром, що збагачений гумусом. У більшості типів ґрунтів під гумусним горизонтом залягають достатньо могутні горизонти ґрунтового походження. В цілому розмір ґрунтового тіла складає 120-180 см, а в Передкарпатті і Закарпатті близько 2,3-5 м. Згідно П.С. Косовичу нижня межа ґрунту визначається завглибшки перетворенням материнської породи в процесі ґрунтоутворення. Дослідження показують, що на цю ж глибину розповсюджується коренева система рослин, хоча чим ближче до межі, тим менше коріння досягає її. Проте факт наявності кореневої системи свідчить про те, що відбувається явний ґрунтоутворюючий процес з властивими йому основними ознаками (наявністю мікроорганізмів, розкладанням рослинних залишків, формуванням колоїдних систем і гумусу).

І.П. Герасимов запропонував розглядати ґрунтоутворення через сукупність елементарних ґрунтових процесів (ЕГП), які характерні тільки для ґрунтоутворення. Такими ЕГП є процеси, що приводять до новоутворень, внаслідок чого з материнської породи формується ґрунт. До ЕГП відносять монтмориллонізацію мінералів, внаслідок чого накопичуються вторинні глинисті мінерали в процесі вивітрювання материнської породи, а також засолення, карбонізацію ґрунтів, вилуговування, оглеївання ґрунту з відновленням елементів в умовах перезволоження і винесенням їх з гумусу, лесиваж або відмучування тонких частинок, гумусоутворення і т.д.

Певний комплекс елементарних ґрунтоутворюючих процесів визначає загальний тип ґрунтоутворення, характерний для даної території і клімату. С.С. Неустров і К.Д. Глінка описали п'ять типів ґрунтоутворення: степовий (чорноземний або дерновий), підзолистий, латеритний, солонцовий, болотяний. В даний час до них доданий шостий - буроземний тип.

Тип ґрунту формується в конкретних кліматичних і гідротермічних умовах з характерним проявом одного або декількох ЕГП. Певний тип ґрунту є основною таксономічною одиницею і характеризується своєрідною системою ґрунтових горизонтів, загальними властивостями, обумовленими водним, повітряним, тепловим і окислювально-відновним режимами. У сучасному ґрунтознавстві немає системи класифікації ґрунтів, яка б вже склалася.

Існує інша точка зору на ґрунтоутворюючий процес, наприклад його пов'язують з такими режимами, як алювіальний (з участю річкових відкладень), гідроморфний (при сильному впливі ґрунтових вод або надмірних опадів), автоморфний (на вододілах), гірський, лісовий, культурний (у орних регіонах).

5.2. Головні типи ґрунтів України

Дерновий процес ґрунтоутворення є одним з основних процесів формування чорнозему. Цей процес здійснюється в умовах високої біологічної активності, що протікає під трав'янистою рослинністю степової зони, хоча останнім часом знайдені чорноземи, що сформувалися під лісовими масивами. У зв'язку з цим в даний час встановлено, що тип ґрунту формується при сумісній участі рослинності, клімату і геологічної породи. Показано, що дерновий процес ґрунтоутворення домінує в степах. Лесові і лессоподібні суглинки мають розвинену пористість, багаті на катіони кальцію і магнію. Помірне зволоження і сухий період ранньою осінню створює сприятливі умови для збереження живильних речовин і запобігання їх вимиванню з колоїдів дощовими опадами. А.Н. Соколовський назвав рухомий кальцій в ґрунтах сторожем родючості. Глибокий рівень ґрунтових вод, відсутність перезволоження забезпечують в умовах степового ґрунтоутворення оптимальні окислювально-відновні процеси, внаслідок чого накопичується багато якісного гумусу. У таких ґрунтах створюються найсприятливіші умови для розвитку мікроорганізмів, причому процеси розкладання рослинних залишків і виділення мінералів, а також накопичення гумусу збалансовані.

Ґрунти степового типу мають найпростіший профіль, якій визначається в першу чергу вмістом гумусу. Виділяється поверхневий або гумусно-акумулятивний горизонт А, перехідний горизонт В і материнська порода З. А.Н. Соколовській запропонував іншу класифікацію цих горизонтів, позначивши їх латинськими буквами Н – гумус, НР – перехідний горизонт і Р – порода. Для обліку карбонатизації, солонцюватості, озолення, оглеївання використовують малі букви у вигляді індексів. Весь профіль чорнозему пронизаний кротовинами і має карбонатні новоутворення. Чорноземи поширені на Україні в північній частині лісостепу. На півдні України в посушливих областях (Херсон, Мелітополь, північний Крим) залягають червоно-коричневі ґрунти.

Окремо виділяється гірничо-чорноземні ґрунти Донбасу. Профілі чорноземів тут неглибокі (до 1 м), що обумовлено щебінчістю і неглибоким заляганням материнської породи, а також посушливістю клімату.

Дернові ґрунти залягають у вологих зонах Полісся і мають невисоку родючість. У Криму степові ґрунти відносяться до гірських.

Корінні відмінності ґрунтів, що сформувалися під лісовими масивами, полягають у наявності лісової підстилки і більшої вогкості. У лісах Карпат, Полісся і гірського Криму домінує промивний водний режим. В результаті формуються вилужені ґрунти, в яких колоїдний комплекс недостатньо насичений кальцієм. Це корінним чином впливає на характер ґрунтоутворюючого процесу. В умовах вологого клімату гумус не коагулюється кальцієм, який заміщається залізом, алюмінієм і глинистими частинками. У таких умовах створюються сприятливіші умови для розвитку деревної рослинності. Істотну роль в лісовому ґрунтоутворенні виконує лісова підстилка. Вона поглинає кисень і не пропускає його углиб ґрунту. В результаті в нижніх шарах ґрунту утворюються органічні речовини, що виконують роль відновників. Кислотний гідроліз первинних матеріалів і відновні процеси мобілізують хімічні елементи і переводять їх в рухомі з'єднання. В умовах промивного водного режиму вони виносяться з ґрунту. Тільки в підстилці міститься багато кальцію, який сприяє утворенню

цінного гумусу, помітного по темному забарвленню перегнійно-акумулятивного горизонту під підстилкою.

Головним типом лесових ґрунтів України є бурозем. Він формується в умовах високої вогкості і достатньої аерації ґрунту, вільного водообміну і інтенсивного промивного режиму. Бурозем – сильно вилужений кислий ґрунт. Буроземне ґрунтоутворення переважає в Карпатах і Криму. Не дивлячись на те, що буроземи утворюються під лісовими масивами, головними чинниками ґрунтоутворення є висока вогкість і кислотність ґрунту. В процесі вимивання дрібних мулистих фракцій відбувається лессиваж або їх вимивання з верхніх ґрунтових горизонтів і перенесення в розташовані нижче. Згідно українській системі класифікації горизонти іменуються буквами HE, E, I Im. Верхній горизонт збіднений мулом, але збагачений гумусом (буква H). Нижче розташований елювіальний горизонт, в якому мало гумусу і мула. Наступний горизонт збагачений мулом, в ньому утворюються сприятливі умови для оглеївання і монтмориллонізації.

5.3. Ґрунтовий покрив України і його використання.

Найбільшу площу в межах України займають різноманітні чорноземи – близько 22 млн. га. Площа червоно-коричневих ґрунтів дорівнює 1,3 млн. га. Під сільськогосподарськими угіддями знаходиться 4,2 млн. га темно-сірих лісових ґрунтів і підзолистих чорноземів, 2,1 млн. га сірих лісових, 2,3 – дерново-підзолистих, 1,3 – дернових суглинкових і близько 0,6 млн. га буроземів. Під лісами ще знаходиться 7,2 млн. га лісових ґрунтів і близько 1 млн. га займають лугові ґрунти. Стільки ж їх поховано під Дніпровськими морями. Крім того під сільськогосподарськими угіддями знаходиться 3 млн. га осушених земель. У всіх зонах зустрічаються осолоділі ґрунти у вигляді блюдець, які утворюються в процесі руйнування мінеральної частини ґрунту під впливом лужних розчинів під час тимчасового затоплення території при відриві від ґрунтових вод. При цьому аморфні продукти вилуговування виносяться в шари, які розташовані нижче.

Як вже вказувалося в другому розділі, лісові масиви є могутніми регуляторами водного балансу на суші. Наявність площ з лісовими масивами є критичним чинником для стійкого землеробства. На жаль, площа лісів на Україні скоротилася до 14,3% і продовжує зменшуватися. Ліси не тільки є джерелом цінної сировини, але і виконують важливу роль стабілізуючого екологічного чинника, оздоровлюючи навколишнє середовище. Оскільки Україна знаходиться в зоні нестійкого зволоження, ліси покращують водний режим ґрунтів і території в цілому, зберігають малі річки, кількість яких на Україні різко скоротилася. Встановлено, що на ділянках суші, залісеної лісозахисними смугами, істотно поліпшуються умови забезпеченості вологою, скорочуються перепади вогкості і кількість посушливих періодів. Збільшення лісистості території невимірно ефективніше як засіб водозабезпечення, ніж горезвісні Дніпровські моря, що незворотно знищили близько мільйона гектарів цінних лугових земель.

Другою важливою програмою поліпшення землекористування є виведення частини ґрунтових ресурсів із землеробства. Особливо це торкається Кіровоградської області і прилеглих до неї регіонів, де розорано більше 90% площі. Нормальна розораність ґрунтів не повинна перевищувати 20-30%, що створює умови для бережливого раціонального використання цінного надбання, яким є високогумусні ґрунти нашої країни. У світовій практиці є приклади раціональних рішень екологічних проблем, що зсунули співвідношення екологічних чинників в кращу позитивну сторону. Так, Франція відчула ту ж проблему зі скороченням лісових масивів, площа яких зменшилася з 80% в середніх століттях до 14% на початку минулого століття. Після прийнятих комплексних заходів площа лісових насаджень збільшилася до 25%, тобто майже в два рази, що зразу ж сприятливо позначилося на водному балансі суші. Таку ж задачу ставить Китай, який почав програму комплексного відновлення загублених лісових масивів.

Останнім часом все ширше починають використовуватися бактерійні препарати для обробки насіння і розсади сільськогосподарських рослин. Штами

таких бактерій (як правило, використовуються асоціації декількох типів бактерій) вирощуються в лабораторіях і спеціальних фірмах. Використання таких бактерійних препаратів підвищує інтенсивність засвоєння азоту, фосфору, сірки і інших макро- і мікроелементів, оскільки, як вже мовилося раніше, вивільнення живильних речовин в зручній для рослин формі здійснюється мікроорганізмами. Врожайність при такій обробці збільшується на 20-30%, при цьому ґрунт не засмічується надлишком мінеральних добрив.

Давно відома позитивна роль сівозміни, коли сільські господарства відмовляються від посівів монокультур. Кожна культура формує свій набір мікроорганізмів, їх густину в ґрунті, типи асоціацій, паразитів, що харчуються цими мікробами (наприклад, нематод). При щорічному вирощуванні однієї і тієї ж культури відбувається накопичення одного виду мікроорганізмів і їх паразитів і скорочення різноманітності організмів в цілому. Крім того, виснажуються певні типи живильних речовин, які в першу чергу необхідні даній рослині. Сучасні методи дозволяють досліджувати густину мікробного ценозу в конкретному ґрунті, різноманітність видів мікроорганізмів, організацію і ступінь розвитку бактерійних колоній, типи їх асоціацій, співвідношення активних і латентних форм, чисельність паразитів.

Результати цих досліджень дають важливі кількісні і якісні дані для оцінки стану ґрунту в цілому і дозволяють виробити агрономічні і біологічні рекомендації для поліпшення стану ґрунтів. При настанні стадії втомленості ґрунту, підвищенні його токсичності часто найпростішим і ефективним способом відновлення ґрунту є сівозміна, яка складається з урахуванням стану ґрунту в даний момент. Важливо розуміти, що основа втомленості ґрунту лежить не у тому, що в ньому вирощують одну і ту ж культуру, а у тому, що в результаті вирощування монокультури накопичуються паразити і порушується різноманітність мікроорганізмів, тобто погіршуються фітосанітарні умови, які треба покращувати шляхом відновлення різноманітності мікроорганізмів. Як

правило, при цьому знищуються патогенні організми і відновлюється здорове середовище для зростання рослин.

Так, при повторних посівах ячменю або цукрового буряка накопичуються інфекції, які знищують коріння рослин і різко знижують врожайність. Разом з тим на ділянках, де раніше загинув урожай кормових трав добре розвивається кукурудза або гречка, оскільки їх коріння не чутливе до інфекцій, від яких страждають культури-попередники.

Важливу екологічну роль мікроорганізми виконують в процесі детоксикації пестицидів і отруйних хімікатів, використовуваних в сільському господарстві. Мікроорганізми руйнують отрутохімікати за допомогою різних біологічних речовин, що виділяються в процесі життєдіяльності. Детоксикація і руйнування отрутохімікатів знаходиться в прямій залежності від мікробіологічної активності ґрунтів. Оскільки мікроорганізми найінтенсивніше розвиваються в гумусі, найефективніша детоксикація здійснюється в чорноземних ґрунтах, особливо при додаванні органічних добрив. Протягом теплого вологого періоду отрутохімікати в таких умовах розкладаються за 2-3 тижні.

Таким чином одним з найбільш екологічних способів збереження цінних родючих ґрунтів є застосування сучасних досягнень мікробіології і максимальний відхід від використання мінеральних добрив, хімічних пестицидів і гербіцидів. Управління родючістю ґрунтів повинне йти природним чином, з використанням тих механізмів накопичення і збереження гумусу, які розроблені самою природою.

5.4. Ґрунти світу

Ґрунти світу вельми різноманітні по типу, складу і якості. Найчастіше прийнято розглядати ґрунтового районування по кліматичних поясах, оскільки клімат є одним з головних ґрунтоутворюючих процесів.

У бореальному або помірно холодному поясі розташовані ґрунти на площі 11 212 тис. км² в Євразії, а також на півночі Канади і США. Найтипівішими

грунтоутворюючими породами є льодовикові (карбонатні і безкарбонатні моренні суглинки) і водно-льодовикові відкладення. Переважаючий тип рослинності представлений лісами, в основному хвойних порід. Ґрунти характеризуються перезволоженням, кислою реакцією і низьким вмістом гумусу. Бореальний пояс представлений підзолистими ґрунтами, що утворюються під хвойними і змішаними лісами в умовах промивного режиму при сезонному промороженні на суглинних моренах і елювіально-делювіальних відкладеннях.

Дернові ґрунти утворюються під широколистяними і змішаними лісами з розвиненим трав'янистим покривом на карбонатних породах в умовах вологого клімату при промивному типі водного режиму.

Болотяні ґрунти поширені на територіях тайгової і тундрової зон і формуються в умовах постійного надмірного зволоження в процесі торфоутворення і оглеєння. Ґрунтоутворюючі процеси болотяних ґрунтів протікають при дефіциті кисню в анаеробних умовах, коли сповільнюється інтенсивність розкладання рослинної речовини, що накопичується у вигляді торфу. Торфоутворення супроводжується оглеєнням ніжчерозташованої породи з участю грибів і мікробів.

Бурі лісові ґрунти широко поширені під широколистяними і змішаними лісами з розвиненою трав'янистою рослинністю. Формування цих ґрунтів протікає в умовах промивного водного режиму на добре дренованих ґрунтах.

Сірі лісові ґрунти утворюються в лісостепових зонах, генезис утворення цих ґрунтів на сьогодні повністю не з'ясований.

В межах суббореального або помірно теплого поясу сформувалися чорноземи, які займають 1,7% суші. Згідно сучасним уявленням, провідним процесом для утворення чорнозему є гумусо-аккумулятивний в поєднанні з міграцією гідрокарбонату кальцію в профілі. Коріння трав'янистої рослинності виконує важливу роль оструктурування чорноземів і забезпечує їх багатими живильними речовинами.

Через особливу цінність чорноземів виділимо їх відмітні особливості. У чорноземах немає істотної зміни гранулометричного складу за профілем. У мінералогічному складі переважають первинні мінерали і монтмориллоніт. Хімічний склад за профілем також однорідний. У гумусному шарі акумулюється азот, фосфор, сірка і мікроелементи, концентрація яких зменшується з глибиною. Максимальний вміст гумусу мають глинисті чорноземи, тобто ті ґрунти, в яких міститься максимальна кількість неорганічних колоїдів. Чорноземи мають сприятливі фізико-хімічні властивості, оскільки характеризуються високою місткістю поглинання (60-70 мекв/100 г), насиченістю лужними сполуками до 95% і вище. Чорноземи відрізняються найвищою біологічною активністю завдяки високому вмісту гумусу.

У сухих степах переважають каштанові ґрунти, які формуються тим же дерновим процесом, що і чорноземи, але в умовах аридного (посушливого) клімату. Тому вміст гумусу в каштанових ґрунтах менше, ніж в чорноземах, що і визначає їх колір.

Солончаки, солонці і солоди формуються з участю розчинних солей в ґрунтових водах. Засолені ґрунти називаються солончаками, лужні – солонцями, такирами і солодями. Солончаки зустрічаються на півдні України і навколо озера Сиваш.

Напівпустинна зона складається в основному з бурих напівпустинних ґрунтів. У утворенні профілю цих ґрунтів приймають дернові процеси, розсолення, осолодіння і коркоутворення.

Субтропічний або теплий пояс суші представлений ссіроземами. Існує декілька теорій утворення сіроземів. Згідно однієї з них сіроземи утворилися під дією високої, але короткочасної біологічної активності, пов'язаної з нетривалим весняним періодом і довгим жарким періодом, коли ці процеси припиняються. Сіроземи формуються при випотному водному режимі, в результаті якого відбувається пересування карбонатів і легкорозчинних солей до земної поверхні. Взимку і восени завдяки опадам ґрунт стає пріснішим в результаті вимивання

солей в нижні горизонти. Із збільшенням опадів росте кількість гумусу. Сіроземи характеризуються високим вмістом крупного пилю, середні горизонти збагачені мулистою фракцією, висока мікроагрегатність обумовлена цементуючими глинистими частинками. В цілому ссіроземи мають хорошу водопроникність і вологоємність, а також повітряні властивостями.

Для сухих субтропіків характерні коричневі ґрунти, верхній шар яких представлений гумусним горизонтом з невеликою дерниною зверху. Нижче розташований оглинений грудкуватий горизонт. Під ним залягає карбонатний буро-коричневий горизонт.

Ґрунти вологих субтропічних лісів містять червоноземи і жовтоземи. Вони формуються під дією гумусо-акумулятивного і підзолистого процесів ґрунтоутворення. Не дивлячись на високу мінералізацію і опідзолення органічної речовини, вміст гумусу вельми великий і досягає 10-12%, що пояснюється високою біологічною активністю мікроорганізмів під дією тепла і вологи. Проте якість гумусу нижча, ніж в чорноземі, оскільки замість кальцію присутні в основному оксиди заліза і алюмінію.

Ґрунти заплав і дельт річок формуються в умовах періодичного затоплення території і накопичення мула. Ґрунтоутворення в заплавах і дельтах річок відбувається за рахунок винесення і перевідложення гумусу і живильних речовин зі всієї площі водозбору, що визначає високу сільськогосподарську цінність даних ґрунтів.

5.5. Підсумки розділу

1. Ґрунти степового типу формувалися під дією дернового процесу і мають найпростіший профіль, визначуваний в першу чергу вмістом гумусу. Виділяється поверхневий або гумусно-акумулятивний горизонт А, перехідний горизонт В і материнська порода С. Глибокий рівень ґрунтових вод, відсутність перезволоження забезпечують в умовах степового ґрунтоутворення оптимальні окислювально-відновні процеси, внаслідок чого накопичується багато якісного

гумусу. У таких ґрунтах створюються найсприятливіші умови для розвитку мікроорганізмів, причому процеси розкладання рослинних залишків і виділення мінералів, а також накопичення гумусу збалансовані.

2. Ґрунти, що сформувалися під лісовими масивами, мають лісову підстилку і характеризуються більшою вогкістю. Під впливом промивного водного режиму формуються вилужені ґрунти, в яких колоїдний комплекс не достатньо насичений кальцієм. В умовах вологого клімату гумус не коагулюється кальцієм, який заміщається залізом, алюмінієм і глинистими частинками. У таких умовах створюються сприятливіші умови для розвитку деревної рослинності. Істотну роль в лісовому ґрунтоутворенні виконує лісова підстилка. Вона поглинає кисень і не пропускає його углиб ґрунту. В результаті в нижніх шарах ґрунту утворюються органічні речовини, що виконують роль відновників.

3. Найбільшу площу в межах України займають різноманітні чорноземи. Поширені темно-сірі лісові ґрунти, підзолисті, а також чорноземи сірі лісові, дерново-підзолисті, дерново-суглинкові, червоно-коричневі і лугові ґрунти.

4. Існує невідкладна необхідність програми відновлення лісових масивів і розширення їх площі в два і більше разів, що дозволить поліпшити водний режим ґрунтів України. Крім того, необхідно зменшити частку площі оброблюваних земель, особливо в центральній частині України, що дасть можливість зберегти їх від виснаження і інтенсивної ерозії. Важлива роль в стабілізації екології ґрунтів України належить застосуванню науково обґрунтованих схем сівозміни, сучасних досягнень мікробіології, максимальному відходу від застосування мінеральних добрив, хімічних пестицидів і гербіцидів.

5. Ґрунти світу найчастіше класифікують по кліматичних зонах. Ґрунти бореального (помірно холодного) поясу сформувалися з льодовикових відкладень. Такі ґрунти відносяться до типу підзолистих і характеризуються кислою реакцією і низьким вмістом гумусу. Дернові ґрунти утворюються під широколистяними і змішаними лісами з розвиненим трав'янистим покривом на карбонатних породах в умовах вологого клімату при промивному типі водного режиму. Болотяні ґрунти

поширені на територіях тайгової і тундрової зон і формуються в умовах постійного надмірного зволоження в процесі торфоутворення і оглеєння. Бурі лісові ґрунти широко поширені під широколистяними і змішаними лісами з розвиненою трав'янистою рослинністю. Формування цих ґрунтів протікає в умовах промивного водного режиму на добре дренованих ґрунтах. В межах суббореального або помірно теплого поясу сформувалися чорноземи, які займають 1,7% суші. Згідно сучасним уявленням, провідним ґрунтоутворюваним процесом для чорнозему є гумусо-акумулятивний в поєднанні з міграцією гідрокарбонату кальцію в профілі. У сухих степах переважають каштанові ґрунти, які формуються тим же дерновим процесом, що і чорноземи, але в умовах аридного (посушливого) клімату. Тому вміст гумусу в каштанових ґрунтах менше ніж в чорноземах, що і визначає їх колір. Існують також солончаки, солонці і солоди засолених ґрунтів, бурі напівпустинні ґрунти, сіроземи субтропічного поясу, коричневі ґрунти сухих субтропіків, червоноземи і жовтоземи вологих субтропіків. Відрізняють також ґрунти заплав і дельт річок.

Питання для самоперевірки

1. Який основний механізм формування ґрунтів степового типу?
2. Яка роль кальцію у формування чорнозему?
3. Які процеси супроводжують формування лісових ґрунтів?
4. Які основні типи ґрунтів поширені в межах України?
5. Навіщо необхідне розширення лісових масивів в межах України?
6. Яка роль сівозміни в стабілізації ґрунтів?
7. Перерахуйте основні ґрунти світу?

6. ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЯКІ ПРОТІКАЮТЬ В ҐРУНТІ

6.1. Введення

Крім світла вищим рослинам потрібні для здійснення метаболізму вода і деякі хімічні елементи. За сприятливих умов більшість автотрофів може використовувати енергію сонячного світла для перетворення вуглекислого газу і води в органічні сполуки, що служать джерелом енергії. Ця енергія витрачається на здійснення багатоетапних хімічних реакцій розкладання і синтезу живильних речовин, необхідних для розвитку рослин. Використовуючи неорганічні живильні речовини, що поступають з навколишнього середовища, рослини синтезують таким чином необхідні амінокислоти і вітаміни. Живлення рослин включає поглинання речовин з навколишнього середовища, розподіл цих речовин по рослині і використання їх в процесах метаболізму і зростання.

На сьогодні відомо, що наступні 16 елементів є необхідними неорганічними живильними елементами для рослин: вуглець, водень, кисень, калій, кальцій, магній, азот, фосфор, сірка, залізо, марганець, цинк, мідь, хлор, бор і молібден.

У табл. 6.1 приведено середній вміст макро- і мікроелементів в рослинах і вказані їх основні функції в процесі метаболізму і зростання. До макроелементів відносять речовини, які реєструються в сухому залишку рослини в помітних кількостях. Мікроелементи реєструють по слідах.

З даних, приведених в табл. 6.1, видно, що рослини засвоюють основні елементи у вигляді іонів, які переносяться в розчинному вигляді, що свідчить про важливу транспортну функцію води для рослини.

Неорганічні іони впливають на осмотичний тиск, виконують специфічну функцію (наприклад, марганець, що входить до складу молекули хлорофілу, входить до складу клітинних мембран і контролює їх проникність. Ряд елементів є складовими ферментних систем або виконують роль каталізаторів реакцій.

**Функції неорганічних живильних елементів в рослинах і їх середній
вміст**

Елемент	Основна форма, в якій поглинається елемент	Звичайна концентрація в здоровій рослині (у перерахунку на суху масу)	Головні функції
Макроелементи			
Вуглець	CO ₂	44%	Компонент органічних сполук
Кисень	H ₂ O, O ₂	44%	Компонент органічних сполук
Водень	H ₂ O	6%	Компонент органічних сполук
Азот	NO ³⁻ , NH ⁴⁺	1-4%	Компонент амінокислот, білків, нуклеотидів
Калій	K ⁺	0,5-6%	Структура ферментів, амінокислот. Синтез білка. Ферменти
Кальцій	Ca ²⁺	0,2-3,5%	Клітинні оболонки. Ферменти
Фосфор	H ₂ PO ⁴⁻	0,1-0,8%	АТР, енергетика хімічних реакцій
Магній	Ma ²⁺	0,1-0,8%	Хлорофіл
Сіра	SO ₄ ²⁻	0,5-1%	Амінокислоти

Мікроелементи			
Залізо	Fe ²⁺	25-300млн ⁻¹	Синтез хлорофілу
Хлор	Cl ⁻	100-1000млн ⁻¹	Осмоз, іонний баланс
Мідь	Cu ²⁺	4-30млн ⁻¹	Активатор ферментів
Марганець	Mn ²⁺	15-800млн ⁻¹	Активатор ферментів
Цинк	Zn ²⁺	15-100млн ⁻¹	Активатор ферментів
Молібден	MoO ₄ ²⁻	0,1-5млн ⁻¹	Фіксація азоту
Бор	BO ₃ ⁻	5-75млн ⁻¹	Засвоєння Са
Елементи, необхідні для деяких рослин			
Кобальт	Co ²⁺	сліди	Азотфіксація
Натрій	Na ⁺	сліди	Осмоз

Нестача основних елементів викликає різноманітні порушення розвитку рослин, оскільки вони виконують фундаментальну роль в метаболізмі і зростанні. Так, калій впливає на активність 50 ферментів з 60. При цьому він управляє конфігурацією активних центрів на ділянках ферментів, що підвищує ефективність засвоєння специфічних речовин. Ферменти виконують роль реактора, в якому відбувається зв'язування або розкладання певної речовини. Калій так управляє формою ділянок ферментів, на яких розміщені необхідні активні центри, що сама хімічна реакція протікає якнайповніше і ефективно. По суті калій забезпечує оптимальну стиковку активних ділянок ферменту з конкретними молекулами засвоєної речовини. Залізо входить до складу цитохроми, яка переносить електрони від однієї молекули до іншої в процесі протікання окислювально-відновних реакцій.

Неорганічні живильні елементи, які поглинаються корінням рослин, існують в ґрунтовому розчині у вигляді іонів. Більшість металів утворює позитивно заряджені іони - катіони, такі, як Ca²⁺, K⁺, і Na⁺. Глинисті частинки

виконують роль резервуару катіонів для рослини. У різних точках їх кристалічних решіток є надлишок негативного заряду, де катіони зв'язуються і таким чином утримуються, не дивлячись на вимиваючу дію води, що просочується крізь ґрунт.

Катіони, пов'язані з глинистими частинками, в процесі катіонного обміну можуть заміщатися іншими і переходити в ґрунтовий розчин, стаючи доступними для рослин. Це одна з причин того, що глинисті частинки є необхідним компонентом родючого ґрунту.

Основні негативно заряджені іони (аніони), що містяться в ґрунті, це NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- і OH^- . Аніони вимиваються з ґрунту швидше, ніж катіони, оскільки вони не прикріплюються до глинистих частинок. Виключенням є фосфат, який стійкий до вимивання через те, що утворює нерозчинні осади і вибірково поглинається або утримується з'єднаннями, що містять залізо, алюміній і кальцій.

Доступність неорганічних живильних елементів рослин визначається також кислотністю або лужністю ґрунтів. Діапазон значення рН різних ґрунтів достатньо широкий, а багато рослин переносять лише невеликі його зміни. У лужних ґрунтах деякі катіони утворюють розчинні з'єднання, і такі елементи, як залізо, магній, мідь і цинк, стають недоступними для рослин

6.2. Показник кислотності ґрунтів

Кислотність ґрунтів визначається складом ґрунтового розчину і ґрунтових колоїдів. Кислотність ґрунтів обумовлена кількістю іонів водню і алюмінію в ґрунтовому розчині або в колоїдному поглинаючому комплексі. Кислотність або лужність ґрунтів вимірюється негативним логарифмом концентрації іонів водню, яке позначається як рН. Якщо концентрація іонів складає 10^{-7} г/дм³, значення кислотності або рН середовища рівна 7 і це середовище є нейтральним, оскільки співвідношення іонів водню H^+ і гідроксильних груп OH^- однакове. При рН рівному 3-4 середовище вважається кислим, 5-6 - слабокислим, 8-9 - слаболужним і 10-11 - лужним.

Концентрація іонів водню в ґрунтовому розчині відповідає за актуальну кислотність ґрунту. Актуальна кислотність ґрунтів визначається наявністю водорозчинних кислот і в першу чергу щавлевої, лимонної кислоти, фульвокислот, гідролітичних кислих солей (перш за все вугільної кислоти). Вугільна кислота утворюється в ґрунті в результаті життєдіяльності мікроорганізмів. Ця кислота диссоціює на іони H^+ і HCO_3^- , що приводить до підвищення кислотності ґрунтового розчину.

Якщо ґрунт насичений катіонами кальцію і магнію, в ньому утворюються карбонати цих металів і реакція ґрунтового розчину стає нейтральною або слабко лужною. Така реакція характерна для чорноземів, багатих на вміст кальцію. У лісових ґрунтах переважають іони алюмінію, а середовище ґрунтового розчину коливається в межах 5-7 і є слабкокислим. Реакція болотяних ґрунтів кисла. Помітимо, що кислотність ґрунту по глибині профілю може бути непостійною і мінятися, наприклад, збільшуватися з глибиною.

Більшість рослин віддає перевагу нейтральній кислотності ґрунтів, показник якої змінюється в межах 6-8. Актуальна кислотність відображає тільки частину загальної кислотності, тому виділяють потенційну кислотність ґрунтів.

Потенційна кислотність ґрунтів залежить від кислотності твердої фази ґрунту і обумовлена вмістом іонів водню і алюмінію в ґрунтовому поглинаючому комплексі, тобто в гумусі. Потенційна кислотність ґрунтів розділяється на обмінну і гідролітичну. Обмінна кислотність обумовлена наявністю в поглиненому стані іонів водню і алюмінію, які здатні обмінюватися на катіони нейтральних солей, наприклад хлориду калію.

У ґрунтах, що містять значну кількість гумусу (органічної речовини) обмінна кислотність обумовлена іонами водню. Збіднені гумусом мінеральні ґрунти містять обмінний алюміній. Джерелом обмінного алюмінію вважають глинисті мінерали і несилікатні форми гідроксилів алюмінію. Джерелом обмінного водню є органічні кислоти, що утворюються в ході гумусоутворення.

Найяскравіше обмінна кислотність виявляється в підзолистих і красноземних ґрунтах і майже не виявляється у вилужених чорноземах.

Ґрунти з підвищеною обмінною кислотністю мають несприятливі агрономічні властивості. Найбільш екологічним способом усунення цього недоліку є внесення органічних добрив. Найбільшу шкоду надає рухомий алюміній, вміст якого більше на ґрунтах з малою поглинальною здатністю.

Гідролітична кислотність ґрунтів визначається поглиненими іонами водню і алюмінію, які мають нагоду обмінюватися на катіони гідролітичних солей. Гідролітична кислотність не так шкідлива для рослин, як обмінна і використовується для визначення доз вапна або фосфорної муки при обробці кислого ґрунту.

Лужність ґрунтів також розрізняється на актуальну і потенційну. Гідролітичні лужні солі, такі як карбонати і гідрокарбонати калію і натрію, кальцію і магнію відповідають за актуальну лужність ґрунтів. Потенційна лужність прихована в поглиненому колоїдами натрії.

Лужна реакція ґрунту також несприятлива для більшості рослин, оскільки вона погіршує фізичні і хімічні характеристики ґрунту. При рН 9-10 підвищується твердість сухих ґрунтів і їх клейкість у вологому стані. Найчастіше проблема підвищеної лужності зустрічається в солонцях, каштанових ґрунтах, сіроземах. Усувається підвищена лужність ґрунтів гіпсуванням.

У табл. 6.2 приведено вміст іонів в типових ґрунтах, в %.

Таблиця 6.2

Вміст іонів в типових ґрунтах

Тип ґрунту	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺²	Na ⁺²	H ⁺	Al ⁺³	Катіонна обмінна місткість (кмоль/кг)
Чорнозем	6,6	79	11	2	1	7	0	77
Підзол	4,4	14	6	3	0	77		14

З даних, приведених в табл. 6.2, витікає, що реакція чорнозему близька до нейтральної, а підзолу - виражена кисла. У чорноземі найбільший вміст іонів кальцію, в підзолистому ґрунті переважає обмінна кислотність, обумовлена воднем і алюмінієм. Катіонна обмінна місткість в чорноземі набагато вища, оскільки вона визначається запасом гумусу.

6.3. Хімічні реакції і живлення рослин

Життя на Землі цілком залежить від потоку сонячної енергії, який поступає в результаті термоядерних реакцій на зірці, званій Сонцем. Щорічно на Землю посиляється близько $13 \cdot 10^{23}$ калорій енергії сонячно випромінювання. Для порівняння можна сказати, що щодня на Землю поступає об'єм енергії, еквівалентний тієї, яка виділилася б мільйоном атомних бомб, скинутих на Хіросіму. Приблизно 1/3 цієї енергії відбивається поверхнею Землі і хмарним покривом в космічний простір. Решта частина майже вся перетворюється на тепло в результаті поглинання землею. Частина поглиненої енергії витрачається на випаровування вологи в основному з океанів. Лише менше 1% падаючої на Землю енергії сонячного випромінювання поглинається клітками рослин і інших фотосинтезуючих організмів. Ця енергія запасується в придатному для подальшого використання живими істотами вигляді, для підтримки життєдіяльності організмів на Землі. Живі системи переводять поглинену сонячну енергію в хімічну і механічну.

На рис. 6.1 показано як перетворення енергії випромінювання в потенційну хімічну енергію відбувається у вигляді фотосинтезу, який протікає за допомогою спеціальних пігментів хлоропласту, що є в клітках вищих рослин і деяких інших організмів. В процесі фотосинтезу енергія сонячного випромінювання витрачається на те, щоб підняти електрони водню на вищий енергетичний рівень, внаслідок чого стає можливою реакція відновлення вуглекислоти з утворенням глюкози, крохмалю і інших речовин, здатних накопичувати хімічну потенційну енергію.

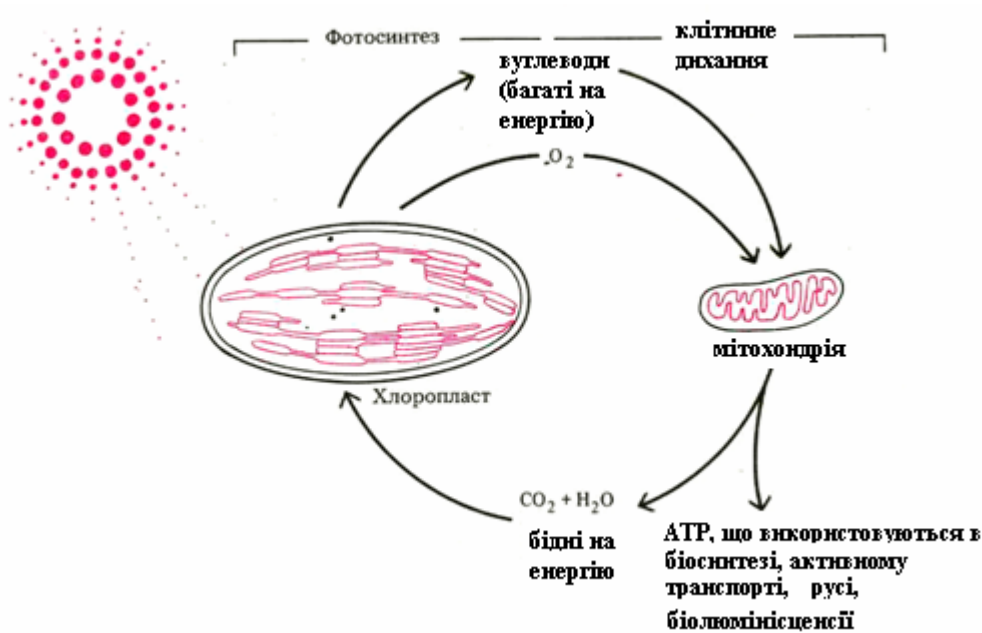


Рис. 6.1. Схема протікання фотосинтезу.



В результаті вказаної реакції фотосинтезу утворюється глюкоза і виділяється кисень. У результаті протікання такої окислювально-відновної реакції (тобто відновлення двоокису вуглецю) з утворенням одного моля глюкози в хімічних зв'язках глюкози запасається 686 ккал вільної енергії, яка може бути легко використана рослинами для подальшого синтезу або розкладання живильних речовин. Такі продукти фотосинтезу як глюкоза або крохмаль є акумуляторами потенційної енергії, за допомогою якої протікають хімічні реакції, які супроводжують дихання або метаболізм рослин. Для оперативного перенесення малих порцій запасеної в глюкозі енергії використовується аденозинтрифосфат (АТР), молекула якого показана на рис. 6.2.

Процес передачі потенційної енергії в елементарній хімічній реакції відбувається у вигляді відщеплювання фосфатної групи. Це приводить до перебудови електронних рівнів і виникає структура з меншою енергією (ді- або монофосфат). Надлишок енергії використовується для протікання реакцій

метаболізму. Окрім АТФ рослини використовують ферменти і інші каталізатори, що допомагають протікати хімічним реакціям при низькій температурі навколишнього середовища з високою інтенсивністю. Крім того реакції передачі енергії і синтезу або розкладання протікають у декілька етапів, по частинах, що також полегшує метаболізм рослин при низьких температурах.

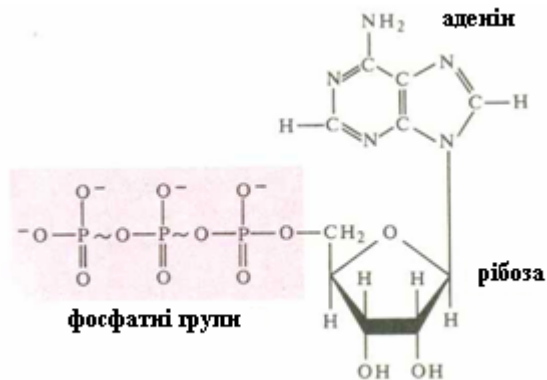


Рис. 6.2. Молекула аденозинтрифосфату (АТФ)

Процеси фотосинтезу і метаболізму управляються другим законом термодинаміки, який задає хід хімічних реакцій в такому напрямі, коли мимовільно реакції протікають тільки з витратою енергії або необоротною втратою частини потенційної енергії. Такі процеси протікають при відщеплюванні фосфатних груп АТФ. Навпаки, реакції, при яких збільшується потенційна енергія молекул (в даному випадку реакція фотосинтезу) вимагають підживлення енергією ззовні. У приведеному прикладі вона черпається у вигляді потоку фотонів сонячного випромінювання. Таким чином енергія сонця використовується на синтез високоенергетичних зв'язків типу вуглець-вуглець або вуглець-водень. В процесі дихання рослин ці зв'язки рвуться з утворенням вуглекислоти і пари води і енергія виділяється. Слід підкреслити, що деяка частина енергії розсівається і теоретично не може бути використана в корисних цілях, що підкоряється також законам термодинаміки, аналогічно тому, як тепловий двигун завжди працює з коефіцієнтом корисної дії менш одиниці.

Необхідно відзначити, що швидкість реакцій метаболізму рослин регулюється температурою навколишнього середовища і показником її кислотності рН. Процес окислення високоенергетичних молекул (наприклад, глюкоза) називається диханням рослин, оскільки використовується кисень. Умовно можна описати цей процес реакцією типу:



Процес розщеплювання органічних речовин з виділенням енергії без участі кисню називається бродінням. У обох випадках ці реакції протікають з виділенням вільної енергії. Ця енергія розсівається у вигляді тепла.

Слід зазначити, що окислювально-відновні процеси використовуються в живій природі для вироблення енергії, яка надалі витрачається на протікання потрібних хімічних реакцій. Наприклад, хемо-автотрофні бактерії окислюють елементарну сірку у присутності кисню. Потім енергія, що виділяється при протіканні цієї реакції, використовується для відновлення зв'язаного у вуглекислому газі вуглецю до глюкози, яка в свою чергу використовується для розмноження кліток рослин і їх метаболізму, тобто життєдіяльності.

Необхідно підкреслити ще раз, що таким чином рослини і мікроорганізми використовують багатоланкові перетворення енергії і забезпечують можливість протікання життєво важливих реакцій при низьких температурах з достатньо високою швидкістю, що можливе тільки в живій природі.

6.4. Буферна ємність ґрунтів

Буферна ємність ґрунту проявляється в його здатності протистояти зрушенню реакції ґрунтового розчину під впливом різних зовнішніх дій у бік кислої або лужної реакції. Якби ґрунти не могли протистояти зовнішнім несприятливим діям, вони були б не в змозі створювати захисне середовище для рослин. Разом з тим багато ґрунтів мають здатність компенсувати, демпфувати

зовнішні дії певної амплітуди і зберігати оптимальне рН середовища для рослин. Чим вище здатність ґрунту демпфувати зовнішні дії, тим більше його буферна здатність. Головними властивостями ґрунту, які відповідають за його буферну здатність, є кількість і якість ґрунтових колоїдів, склад обмінних катіонів і місткість поглинання.

Запобігання зрушенню реакції у бік кислої реакції забезпечують обмінні лужні сполуки (наприклад, іони кальцію). Буфером, що захищає ґрунт до певної межі від вилуговування, є потенційна кислотність.

Чим більше органічної речовини в ґрунті, тим вище його буферна здатність. Піщані і дерново-підзолисті супіщані ґрунти володіють низькою буферною здатністю. Вони найуразливіші по відношенню до зовнішніх дій у вигляді надходження кислот або лужних з'єднань з осадами, ґрунтовими водами і т.п. Яскравим прикладом буферної ємності ґрунту є його здатність протистояти кислотним дощам і до певної межі компенсувати наслідки їх випадання. Найбільшу буферну здатність мають чорноземи, оскільки вони містять максимальну кількість гумусу, насичені основними сполуками і володіють високою місткістю поглинання.

Родючість ґрунту залежить від багатьох чинників, але одним з основних є його буферна ємність, яку слід враховувати, наприклад, при внесенні добрив. Так в ґрунти, що мають низьку буферну ємність, мінеральні добрива слід вносити малими порціями. Внесення органічних добрив і посів культур бобів підвищує буферну здатність, особливо це важливо для дерново-підзолистих ґрунтів. Біологічна активність ґрунту і мікроорганізмів підвищуються при внесенні органіки і вапнування завдяки підвищенню ємності поглинання, насиченості ґрунтів лужними сполуками. Це покращує агрофізичні властивості ґрунту, його структуру, водні і повітряні властивості.

6.5. Підсумки розділу

1. Вуглець, водень, кисень, калій, кальцій, магній, азот, фосфор, сірка, залізо, марганець, цинк, мідь, хлор, бор і молібден є необхідними неорганічними живильними елементами для рослин. Перші дев'ять хімічних елементів є макроелементами і використовуються рослинами для побудови органічних сполук, амінокислот, білків і нуклеотидів. Макроелементи відповідають за енергетику рослин, входять до складу ферментів, хлорофілу і інших важливих речовин, які використовуються для життєдіяльності рослин.

Мікроелементи входять до складу ферментів, відповідають за засвоєння кальцію, азоту, регулюють найважливіші фізико-хімічні процеси в ґрунті і рослинах, такі як осмос, іонний баланс. Нестача основних елементів викликає різноманітні порушення розвитку рослин, оскільки вони виконують фундаментальну роль в метаболізмі і зростанні.

2. Неорганічні живильні елементи, що поглинаються корінням рослин, існують в ґрунтовому розчині у вигляді іонів. Більшість металів утворює позитивно заряджені іони - катіони, такі, як Ca^{2+} , K^{+} , і Na^{+} . Глинисті частинки виконують роль резервуару катіонів для рослини. У різних точках їх кристалічних решіток є надлишок негативного заряду, де катіони зв'язуються і таким чином утримуються, не дивлячись на вимиваючу дію води, що просочується крізь ґрунт.

3. Кислотність ґрунтів визначається складом ґрунтового розчину і ґрунтових колоїдів. Кислотність ґрунтів обумовлена кількістю іонів водню і алюмінію в ґрунтовому розчині або в колоїдному поглинаючому комплексі.

4. Розрізняють актуальну і потенційну кислотність. Остання розділяється на обмінну і гідролітичну.

5. Більшість рослин віддає перевагу нейтральній кислотності, підтримка якої забезпечує буферну ємність ґрунту. Буферна ємність ґрунту проявляється в компенсації зовнішньої дії і запобіганні зрушенню реакції ґрунту у бік кислої або лужної реакції. Чим більше за органіку в ґрунті особливо у вигляді гумусу, тим вище буферні властивості ґрунту.

Питання для самоперевірки

1. Перерахуйте основні хімічні елементи, які необхідні для живлення рослин.
2. Поясніть відмінність між макро- і мікроелементами.
3. Що дає можливість глинистим мінералам утримувати катіони?
4. Чим визначається кислотність ґрунтів, перерахуйте типи кислотності?
5. Якій кислотності віддають перевагу рослини?
6. Що таке буферна ємність ґрунтів і чим вона визначається?
7. Як буферна здатність ґрунту залежить від кількості органіки, що міститься в ґрунті?
8. Який елемент органіки в ґрунті є найціннішою компонентою?

7. ВОДА В ҐРУНТІ

7.1. Введення

Вода - основний компонент живої речовини. Її вміст доходить до 90 % від маси організму. Вона складає невід'ємну частину внутрішньої структури всього живого і є одним з головних чинників, що визначають клімат на поверхні Землі. Вода бере активну участь в біологічних перетвореннях, служить субстратом для фотосинтезу, є одним з продуктів процесу дихання і створює умови зовнішнього середовища, які забезпечують можливість життя. Як кліматичний чинник вона регулює температуру на поверхні Землі, знаходячись в атмосфері, частково затримує сонячну радіацію і зменшує дію екстремальних температур. Вода в тілі рослин і вода, що покриває сушу і що входить до складу атмосфери, не дивлячись на різні її форми єдина, і ритми її руху у живій та неживій матерії узгоджені.

Вода виконує різноманітні функції в життєдіяльності рослини. По-перше, вона, являючись середовищем і розчинником, сприяє розпаду солей неорганічних речовин. По-друге, зовнішній вигляд рослини, особливості морфологічної, анатомічної будови її, а також будови цитоплазми її субклітинних компонентів тісно пов'язані з наявністю води. По-третє, вода має важливе значення в процесах метаболізму.

Зовнішній вигляд рослини в значній мірі залежить від стану клітинної оболонки, що пов'язане з кількістю води в ній. При оптимальному вмісті води клітинна оболонка небагато розтягнута. Цей стан її визначається тургорним тиском, направленим від центру до периферії. Тургорний тиск можна розглядати як тиск протопласту на клітинну оболонку. Остання має пружні властивості, під дією тургорного тиску розтягується, унаслідок чого виникає протитиск, що направлений від клітинної оболонки до центру клітки. Його називають радіальним тиском (або тургорним натягненням), по величині він рівний тургорному.

Тургорний тиск впливає на форму листя, на зовнішній вигляд рослини. При недоліку води в клітці він зникає, листя в'яне, змінюється кут нахилу листу на осі стебла, порушується явище негативного геотропізму, коли рослина і її складові витягнуті проти сили тяжіння.

Величина осмотичного тиску клітинного соку і засмоктуючої сили кліток тісно пов'язана з наявністю і кількістю води в клітках. Осмос - це дифузія через напівпроникну мембрану, тобто таку мембрану, яка добре проникна для води і непроникна або погано проникна для розчинених у воді речовин.

Низькомолекулярні, високополімерні речовини і неорганічні солі здібні до прояву осмотичної активності в клітках лише у присутності води. Молекули неорганічних речовин розпадаються на іони за участю води. Вода ж, викликаючи диспергування солей, сприяє збільшенню числа активно діючих частинок, що беруть участь в осмотичному тиску і метаболічних процесах. При зниженій кількості води (наприклад, під час засухи) осмотичний тиск клітинного соку підвищується, всмоктуюча сила кліток зростає, що обумовлює надходження води в рослину. Цей приклад свідчить про те, що процес водообміну (надходження води) пов'язаний і з кількістю води в організмі рослини.

Кругообіг речовин в рослині здійснюється шляхом участі води. Координація діяльності органотидів в клітках і органах рослини пов'язана з наявністю води, отже, вона в значній мірі визначає функціональну цілісність організму. Встановлено, що, з одного боку, діяльність кореневої системи рослини пов'язана з тими речовинами, які утворюються в листі, інакше кажучи з діяльністю листя і стебла. З другого боку, нормальне функціонування листя, його діяльність залежить від роботи кореневої системи. Різні речовини, що надійшли з ґрунту в коріння, пересуваються у вигляді пасоки до надземних органів, у тому числі і в листя, де вони використовуються на синтез нових речовин, необхідних для побудови тіла рослини, для його нормального функціонування. Метаболіти, що утворилися в листі (цукри і інші речовини), переміщаються низхідним струмом до підземних органів (коріння), де вони необхідні для підтримки їх

діяльності, для забезпечення життєвих процесів, тим самим забезпечується зв'язок між органами рослини.

Зменшення кількості води в листі значно уповільнює відтік речовин з листя в коріння і тим самим ослабляє інтенсивність процесів обміну і кругообігу речовин в організмі рослини. Діяльність рослини в цілому координується завдяки процесам пересування речовин, у тому числі і води, як висхідним, так і низхідним струмами.

Дуже велика роль води в терморегуляції рослини. Як відомо, випаровування води (транспірування) листям супроводжується поглинанням тепла. Джерелами тепла в рослині є сонячне проміння і різні реакції метаболізму, в першу чергу, процес дихання. Якби рослина безперервно поглинала енергію, не випромінюючи частину її в навколишнє повітря, то її температура весь час підвищувалася б до тих пір, поки не наступила «теплова смерть». Проте цього не спостерігається внаслідок того, що рослини втрачають більше половини поглиненої енергії, випромінюючи її в зовнішнє середовище. Крім того, втрата тепла рослиною має місце і в процесі транспірування.

В процесі транспірування в листі рослин вода переходить з рідкого стану в пароподібний. В цей час відбувається поглинання енергії молекулами води, вона витрачається на розрив водневих зв'язків, що мали місце між молекулами води. Таким чином, фазові переходи води мають велике значення в тепловому балансі рослин.

7.2. Ґрунт і вода

Близько 50% загального об'єму ґрунту займає поровий простір, заповнений повітрям і водою в різних співвідношеннях, залежних від умов зволоження. Якщо вода заповнює поровий простір не більше ніж наполовину, коріння рослин забезпечується киснем в достатній кількості. Після сильного дощу або поливу ґрунт зберігає певну кількість води і залишається вологим навіть після відходу з нього під впливом сили тяжіння слабо зв'язаної води. Якщо фрагменти, що

становлять ґрунт, великі, то великі і пори, і весь простір між фрагментами. Вода в цьому випадку швидко проходить крізь ґрунт, і її залишається порівняно мало в горизонтах А і В. Із глинистих ґрунтів завдяки дрібним порам під дією сили тяжіння йде менша кількість води. Таким чином, в глинистих ґрунтах може утримуватися в 3-6 разів більше води, ніж в піщаних того ж об'єму. Відсоток води, утримуваній ґрунтом, не дивлячись на дію сили тяжіння, називається польовою вологоємністю.

Якщо рослині надати обмежений об'єм ґрунту і не поливати її, то вона врешті-решт не зможе витягувати воду з ґрунту, поникне і пов'яне. У разі сильного в'янення рослина не зможе повернутися до життя, навіть якщо її помістити у вологу камеру. Кількість води (у відсотках), яка ще залишається в ґрунті, коли у рослини настає незворотне в'янення, називається вогкістю стійкого в'янення для даного ґрунту.

На рис. 7.1 показане співвідношення між вмістом води і потенціалом, що утримує воду в супіщаному ґрунті. Сили, які зберігають воду в ґрунті, можна виразити в тих же одиницях (в даному випадку через величину водного потенціалу), що і сили, котрі визначають поглинання води клітками і тканинами. Водний потенціал ґрунту поступово зменшується у міру зменшення вогкості нижче за рівень польової вологоємності. Коли вміст води знижується до вогкості стійкого в'янення (близько 15 бар), відбувається різке зменшення водного потенціалу ґрунту.

Водний потенціал характеризує енергію зв'язку, яка може бути витрачена на закріплення молекул води в ґрунті. Саме тому абсолютно сухий ґрунт характеризується високим потенціалом, який прийнято виражати негативним числом. Наприклад, при зв'язуванні першого шару молекул води (гігроскопічна вогкість) величина водного потенціалу ще досить висока і рівна приблизно -31 бар. Наступні шари води зв'язуються не так міцно і водний потенціал у міру збільшення вогкості ґрунту падає, зменшуючись до -15 бар при вогкості в'янення і

-0,01 бар при польовій вологоємності. Водний потенціал повністю насиченого ґрунту рівний нулю.

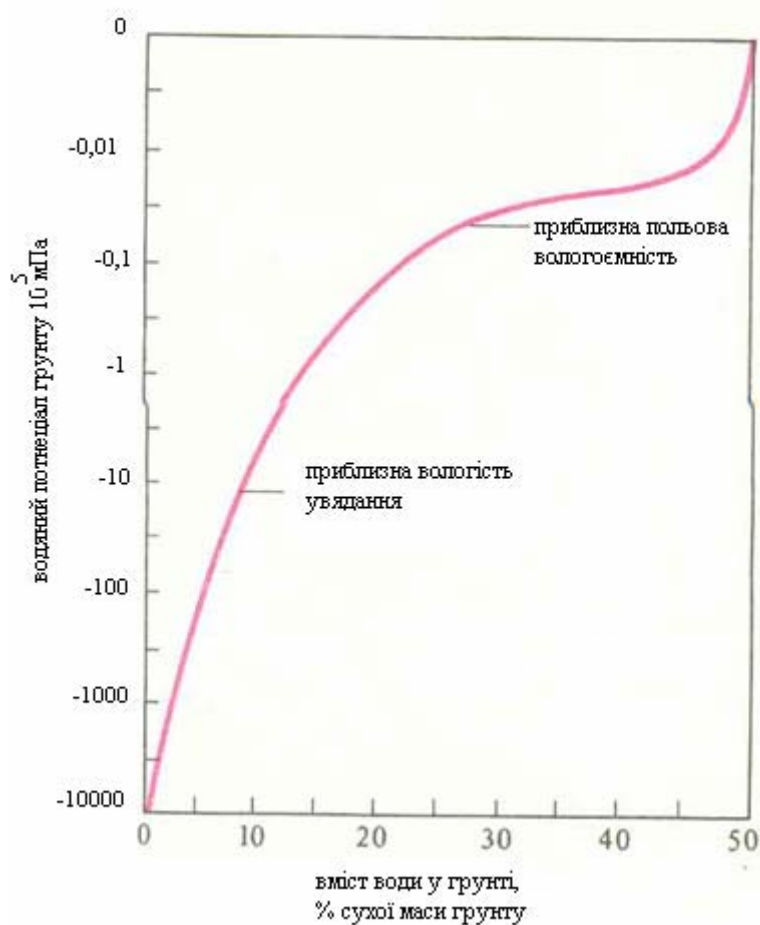


Рис. 7.1. Залежність водного потенціалу ґрунту від вмісту води

Розрізняють також кінетичний потенціал, який характеризує рух води, наприклад у вигляді ґрунтових потоків і електричний, що відображає здатність води взаємодіяти з іонами, розчиняючи солі.

7.3. Фізичні і хімічні властивості води

Вода виконує важливу роль в життєдіяльності організму, завдяки своїм унікальним фізичним і хімічним властивостям. Молекула води складається з двох атомів водню, приєднаних до одного атома кисню. Атом кисню відтягує електрони від водню, завдяки цьому заряди в молекулах води розподілені нерівномірно. Один полюс молекули виявляється зарядженим позитивно, а інший

- негативно. Інакше кажучи, вода є поляризованим диполем. Молекули води можуть утворювати асоціати одна з одною. Позитивний заряд атома водню однієї молекули води притягується до негативного заряду іншої. Це приводить до виникнення водневих зв'язків. Завдяки наявності водневих зв'язків вода має певну впорядковану структуру. Кожна молекула води притягає до себе ще чотири молекули, які прагнуть розташуватися як би по вершинах тетраедра.

Число асоційованих молекул може бути невизначено великим. У рідкій воді впорядковані ділянки чергуються з нерегульованими - хаотично розподіленими молекулами. Таким чином, велика частина молекул організована у вигляді тетраедрів, менша частина заповнює порожнини усередині цих тетраедрів.

У твердому стані (лід) всі молекули води сполучені водневими зв'язками. При нагріванні льоду він плавиться, і частково ці зв'язки розриваються. При нулі градусів розривається приблизно 15% водневих зв'язків. Навіть при нагріванні до 20 градусів залишаються непорушеними 80% водневих зв'язків.

Висока прихована теплота випаровування води обумовлюється наявністю водневих зв'язків. Для того, щоб в процесі випаровування відбувся відрив молекул від водної поверхні, необхідно витратити додаткову кількість енергії для розриву водневих зв'язків. Тому випаровування води рослиною (транспірування) супроводжується охолодженням органів, які транспірують. Пониження температури листя при транспіруванні має важливе фізіологічне значення.

Вода має дуже високу теплоємність, тому поглинання або втрата значної кількості тепла тканинами рослин супроводжується порівняно невеликими коливаннями їх температури. Це дозволяє рослинному організму сприймати коливання температури навколишнього середовища в пом'якшеному вигляді. Вода в рослині знаходиться як у вільному стані, так і в зв'язаному. Вільною називають воду, що зберегла всі або майже всі властивості чистої води. Вільна вода легко переміщається, вступає в різні біохімічні реакції, випаровується в процесі транспірування і замерзає при низьких температурах.

Зв'язана вода має змінені фізичні властивості унаслідок взаємодії з неводними компонентами. Ці взаємодії є процесами гідратації, внаслідок чого зв'язану воду нерідко називають гідратною водою. Розрізняють два основні процеси гідратації: 1) тяжіння диполів води до заряджених частинок (як до іонів мінеральних солей, так і до заряджених груп білка COO^- і NH_2^+); 2) утворення водневих зв'язків з полярними групами органічних речовин - між воднем води і атомами кисню O або азоту N.

Воду, яка гідратує колоїдні частинки (перш за все білки) називають колоїдно-зв'язаною, а розчинені речовини (мінеральні солі, цукру, органічні кислоти і ін.) - осмотично зв'язаною. Вода має виключно високу розчинювальною здатність. У воді аніони і катіони якої-небудь солі виявляються роз'єднаними. Гідратні оболонки, що оточують іони, обмежують їх взаємодію (рис. 7.2). Позитивно заряджені іони притягують полюс молекули води з негативно зарядженими атомами кисню, тоді як іони, несучі негативний заряд, притягують полюс з позитивно зарядженими атомами водню. Одночасно порушується і структура самої води. При цьому, чим крупніший іон або гідратована частинка, тим це порушення сильніше.

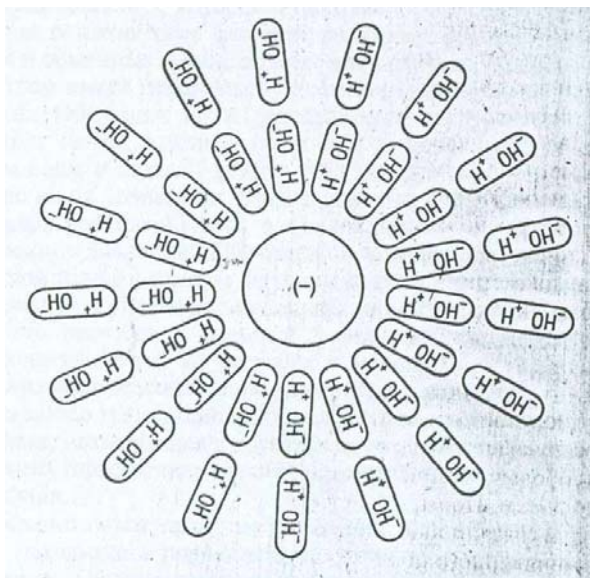


Рис. 7.2. Орієнтовані діполи води навколо гідратованої частки

7.4. Фізика взаємодії води з поверхнею мінеральної і колоїдної складових ґрунтів

Розрізняють взаємодію молекул в межах однієї фази і міжфазні взаємодії молекул. Перший тип взаємодії називають когезією. Можна вважати, що молекули води взаємно притягуються під дією сил когезії.

Тяжіння молекул різних фаз, наприклад, води (рідка фаза) і мінералів або гумусу (тверда фаза) називається адгезією. Адгезія протікає мимовільно і є результатом взаємодії молекул, який виявляється зменшенням поверхневої енергії. Енергія взаємодії рідкої фази води і твердого ґрунту вимірюється роботою, яку потрібно прикласти, щоб відділити молекули в ізотермічному режимі. Ця енергія вимірюється в Дж/м² і має ту ж розмірність, що і поверхневе натягнення, яке наочно виявляється у виникненні опуклого або увігнутого меніска в капілярах.

Величина енергії взаємодії визначається виходячи з термодинамічних уявлень. Молекули повітря взаємодіють з молекулами води і ґрунту. Тому на поверхні їх контакту газ-рідина (повітря-вода) і газ-тверде (повітря-ґрунт) виникає поверхневе натягнення $\sigma_{гр}$ і $\sigma_{гт}$. При контакті рідкої і твердої фаз (вода-ґрунт) з'явиться відповідне поверхневе натягнення $\sigma_{рт}$. Вільна поверхнева енергія (енергія Гиббса - G) до змочування ґрунту рівна сумі поверхневих натягнень:

$$G_1 = \sigma_{гр} + \sigma_{гт} ,$$

Після змочування складає:

$$G_2 = \sigma_{рт} .$$

Тоді величина енергії, що вивільняється при змочуванні рівна:

$$G_2 - G_1 = \sigma_{рт} - \sigma_{гр} - \sigma_{гт} .$$

У міру наближення молекули води до твердої фази, наприклад до поверхні ґрунтоутворюючого мінералу, взаємодія відбувається за допомогою сил Ван-дер-Ваальса, ковалентних і хімічних. Процес адгезії молекул води на поверхні ґрунтових частинок тісно пов'язаний з явищами змочування і розтікання. Явище змочування відбувається при контакті трьох фаз: газоподібної (в даному випадку ґрунтового повітря), рідкої (води) і твердої (ґрунтових частинок). Ступінь змочування визначається співвідношенням робіт когезії (зв'язки молекул води або повітря між собою) і адгезії (сил зчеплення молекул води і поверхні твердої частинки ґрунту). Це співвідношення виражається крайовим кутом змочування, який визначається як нахил поверхні води до поверхні твердої частинки в точці розділу трьох фаз (рис. 7.3). Кут ВАС є крайовим кутом змочування, а його косинус визначає кількісну величину змочування. Звичайно в ґрунтах переважають гідрофільні ґрунтові частинки і косинус крайового кута змочування близький до одиниці. Проте ґрунти, забруднені нафтопродуктами, мають великий кут змочування, а то і тупий, тобто вони є гідрофобними, внаслідок чого ґрунт не здатний вбирати і накопичувати вологу.

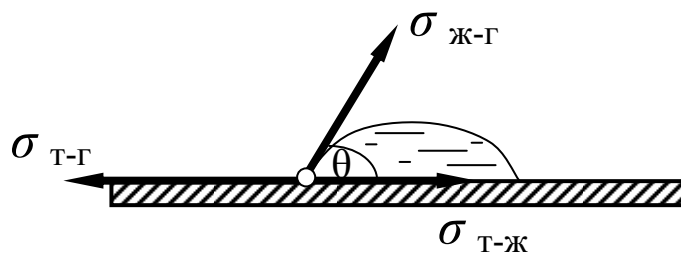


Рис. 7.3. Краєвий кут змочування

Поверхнева енергія розділу гідрофільного твердого тіла прагне зменшуватися, розтягуючи краплю води. Когезійні сили між молекулами води навпаки, перешкоджають цьому розтягання. В результаті встановлюється рівновага, яку можна виразити рівнянням Юнга:

$$\sigma_{\text{гт}} = \sigma_{\text{рт}} + \sigma_{\text{гр}} \cos \theta ,$$

звідки

$$\cos \theta = (\sigma_{\text{гт}} - \sigma_{\text{рт}}) / \sigma_{\text{гр}} .$$

Розрізняють краєві кути натікання і відтоку. При натіканні, яке відбувається, наприклад, під час надходження вологи в ґрунт під час початку дощів, крайовий кут змочування має менше значення, ніж кут відтоку, коли точка трифазного контакту відступає назад з раніше змоченої поверхні. Цю різницю кутів називають гістерезисом. Гістерезис змочування є фундаментальним проявом термодинамічної незворотності процесу змочування.

Капілярність виконує дуже важливу роль при змочуванні ґрунтів водою. У ґрунтових агрегатах розмір пор і мікротріщин часто порівняний з радіусом меніска рідини. У змочуваних ґрунтах поверхня меніска увігнута. В цьому випадку розтягуючі сили поверхневого натягнення води направлені до центру меніска і виконують підйомну дію. Це явище дуже важливе, оскільки воно відповідає за насичення ґрунту вологою. Висота підйому води в капілярах пропорційна косинусу крайового кута змочування і обернено пропорційна радіусу капіляру. Таким чином, чим краще змочується ґрунт і чим менше розмір мікротріщин і пор, які з'єднуються між собою, тим вище підіймається волога під дією капілярних сил. Такі капілярні сили здатні передавати вологу з верхніх горизонтів ґрунтових вод до земної поверхні, внаслідок чого формується так званий випотний водний режим ґрунту.

При взаємодії рідкої води з твердою поверхнею ґрунтових частинок виділяється теплота змочування, що є слідством безповоротності процесу. Змочування відбувається мимовільно з втратою вільної енергії. Відрив частинок вологи (наприклад випаровування) може відбуватися тільки при витратах зовнішньої роботи.

7.5. Види ґрунтової вологи

З фізіологічної точки зору зручно виділити наступні форми ґрунтової вологи, що розрізняються по ступеню доступності їх для рослин:

1. Гравітаційна вода.
2. Капілярна вода.
3. Плівкова вода.
4. Гігроскопічна вода.

В даний час виділяють наступні форми (фракції) ґрунтової вологи.

Хімічно зв'язана вода. Цю категорію води можна розділити на конституційну і кристалізаційну.

Конституційна вода входить до складу вторинних мінералів. Вона настільки міцно зв'язана, що для її видалення потрібне застосування температури до 200 градусів і вище. Природно, що ця форма води недоступна для рослин. До конституційної води слід також віднести воду, що входить до складу органічних речовин ґрунту.

Вода кристалізації менш міцно зв'язана, ніж конституційна. Вона входить до складу гіпсу і інших мінералів. Її можна видалити шляхом тривалого прогрівання при температурі близько 100 градусів. Ця вода також недоступна для рослин.

Сорбована вода. Сорбовану воду ділять на міцно зв'язану (гігроскопічну) і рихло зв'язану (плівкову). Обидві ці форми безпосередньо обволікають ґрунтові частинки і утримуються на їх поверхні силами адсорбції.

Гігроскопічна вода (рис. 7.3) утримується з силою до 1000 МПа і більш і пересувається тільки після переходу в пароподібний стан. Видаляється з ґрунту при нагріванні до 105 градусів протягом 6 годин. Наявність такої води обумовлена гігроскопічністю ґрунту або здатністю твердої фази своєю поверхнею поглинати водяні пари. Гігроскопічність залежить від механічного складу ґрунту і вмісту в ньому органічної речовини. Максимальний вміст гігроскопічної вологи спостерігається при повному насиченні повітря водяними парами, тобто при 99-

100 % відносній вогкості. Цей вміст гігроскопічної вологи називають найбільшою або максимальною гігроскопічністю ґрунту.

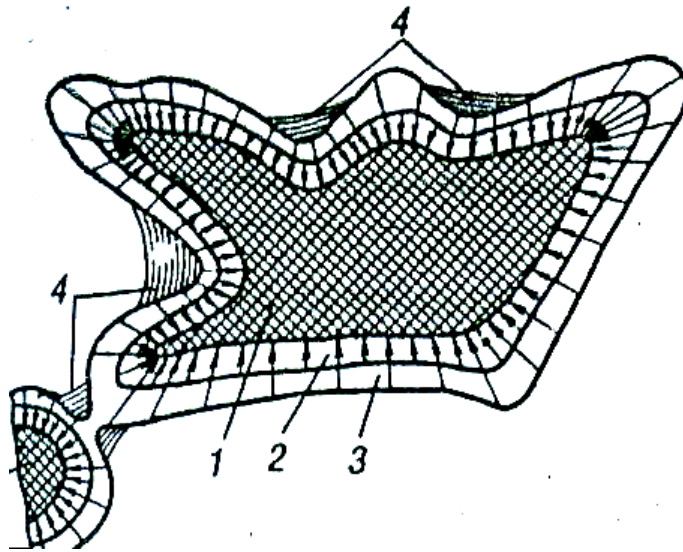


Рис. 7.4. Типи гігроскопічної вологи: 1- ґрунтова частка, 2 – шар міцнозв’язаної вологи, 3- шар рихлозв’язаної вологи, 4 – вода капілярної конденсації

Адсорбований на поверхні ґрунтових частинок шар гігроскопічної вологи втрачає свою рухливість і сильно ущільнюється. В результаті високої густини гігроскопічна вода змінює свою природну структуру і ряд фізико-хімічних властивостей. Така вода має підвищену в порівнянні з чистою водою в’язкість, не замерзає навіть при $-70-78$ градусах, не має електропровідності. Дана форма ґрунтової води недоступна рослинам, оскільки сили зчеплення води перевищують всмоктуючу силу коріння. Хоча гігроскопічна вода і недоступна для рослин, але її виникнення має велике значення, у зв’язку з тим, що скорочує непродуктивну витрату краплинної вологи, що поступає в ґрунт.

Плівкова вода додатково зв’язана сорбційними силами з твердою фазою ґрунту. Пароподібна волога, конденсуючись на поверхні ґрунтових частинок при певних температурах і тиску, дає початок утворенню водної плівки. Процес поглинання водяного пару ґрунтом розглядається як перехідний до адсорбції

води. Таким чином, частина сорбованої води, яка зв'язується менш міцними силами, є рихлозв'язаною водою. Вона утримується на поверхні тонких плівок міцно зв'язаної (гігроскопічної) води. Частина цієї вологи належить водним оболонкам колоїдних частинок ґрунту, з якими зв'язок води міцніший, ніж з грубодисперсними елементами. Цю частину плівкової вологи називають колоїдною водою.

Плівкова вода, як і гігроскопічна, не пересувається в ґрунті під впливом сили тяжіння, але може переходити від однієї ґрунтової частинки до іншої у бік тоншої плівки, що оточує ці частинки. Плівкова і гігроскопічна вода є зв'язаною ґрунтовою вологою, яка утримується молекулярними силами тяжіння. Максимальна товщина водної плівки, що утримується твердими ґрунтовими частинками і колоїдами, представляє максимальну плівкову вологоємність ґрунту.

Плівкова вода відрізняється за своїми фізико-хімічними властивостями і рухливістю від вільної води. Точка замерзання води знаходиться в інтервалі від -4 до -7-8 градусів. Вона має підвищену в'язкість і знижену розчинювальну здатність. На відміну від гігроскопічної плівкова вода проявляє невелику розчинювальну здатність - вона містить деяку кількість електролітів і має електропровідність. У плівці відбувається поступове наростання концентрації розчинених речовин, починаючи від нуля у поверхні частинок (гігроскопічна волога) і поступово збільшуючись до концентрації вільного розчину. Плівкова волога частково доступна для рослин.

Вільна вода. Ґрунтовий профіль має великий відсоток вільного простору, тобто він пористий. Частина пор залежить від типу ґрунту. В основному половина об'єму ґрунту є вільним простором, який заповнюється повітрям або водою. Вільний простір є і в ґрунтових агрегатах (структурах), де воно представлене капілярами. В період випадання опадів або при поливі вільний простір заповнюється водою. Цю воду, що вважається вільною, диференціюють на капілярну і гравітаційну. Вона доступна для рослин.

Капілярна вода. Як відомо, водна поверхня в капілярах має увігнуту форму. Поверхневий тиск увігнутої форми менше за нормальний, тобто менше тиску під плоскою поверхнею. В результаті виникнення додаткового тиску під викривленою поверхнею в капілярах відбувається підняття води. Висота цього підняття пропорційна поверхневому натягненню і обернено пропорційна радіусу капіляра: чим тонші капіляри, тим рівень води в них вищий в порівнянні з рівнем води, в яку капіляр опущений. Тому рівень капілярної води в ґрунті завжди вищий за рівень ґрунтової води і вода по капілярах може просуватися з нижніх у верхні шари ґрунту. Висота підняття капілярної води залежить від механічного складу ґрунту: із збільшенням дисперсності ґрунтових частинок капіляри стоншуються, і це обумовлює значнішу висоту підняття ґрунтової води. Проте в дуже тонких капілярах вся вода знаходиться в адсорбованому (прочносвязанном) стані і втрачає рухливість, що заважає її підйому.

Максимально можлива висота підняття капілярної води в природних умовах досягає 6 м (у глинистих ґрунтах). Проте такий рівень капілярної вологи встановлюється рідко. Звичайно цей рівень не перевищує 3-4 метрів, а для ґрунтів легкого механічного складу і того менше. Цю воду називають капілярно підпертою водою.

Існує ще одна категорія вологи - сорбційно-замкнута, яка знаходиться в некапілярних просторах, перекритих перемичками або пробками із зв'язаної води. Вона локалізована у вигляді скупчень, утримується сорбційними силами. Ця категорія води або недоступна для рослин, або ж частково доступна залежно від сил скріплення з поверхнею просторів, в яких вона знаходиться.

Капілярна вода складає, по-перше, ту частину доступної для рослин вологи, яка сконцентрована у верхній частині ґрунту і утримується силами, які порівняно легко долаються корінням, а по-друге, вологу, що створює капілярну облямівку вище за дзеркало ґрунтових вод. У разі проникнення коріння в глибину така вода стає доступною для рослин.

Гравітаційна вода. Це одна з форм вільної води, доступної для рослин. Вона міститься в некапілярних просторах, заповнюючи пори після дощу, поливу, танення снігу. Пересувається під дією сили тяжіння, легко стікає вниз. Як правило, стікання гравітаційної води відбувається по зазорах між ґрунтовими агрегатами. Затримуватися може тільки водотривким (непроникним) шаром. Ця форма води недовготривала, оскільки швидко стікає в горизонти ґрунту, розташовані нижче. Якщо на шляху просочування гравітаційної води виникає водотривкий шар, то в результаті накопичується певний об'єм води, званої ґрунтової.

Ґрунтова вода є резервом доступної для рослини вологи при неглибокому її заляганні: вона поповнює капілярну облямівку ґрунтів у разі втрати в ній води (випаровування, поглинання рослинами). Тому пористість ґрунтів (сумарний об'єм всіх пор між частинками твердої фази) має важливе значення для накопичення в ґрунті доступної рослинами вологи. Особливо важливим при цьому є оптимальне співвідношення капілярних і некапілярних просторів в ґрунтових горизонтах. Цим умовам відповідає тверда фаза чорноземних ґрунтів, особливо цілинних, з незруйнованою природною зернистою (дрібнозернистою) структурою, що обумовлює наявність капілярів в структурних агрегатах і некапілярних просторів між ними.

Гравітаційна вода знаходиться в конкурентних відносинах з аерацією ґрунтів: вона витісняє ґрунтове повітря з некапілярних просторів і тим самим погіршує повітряний режим ґрунту, особливо в безструктурних ґрунтах, що негативно впливає на ряд ґрунтових процесів і особливо на життєдіяльність кореневої системи. Проте надмірна кількість гравітаційної води шкідливо позначається не на всіх рослинах. Болотяні рослини і ряд сільськогосподарських, наприклад, рис, активно функціонують і при надлишку води, навіть при затопленні території.

Пароподібна волога. Представлена в ґрунті у формі водяної пари і пересувається по градієнту абсолютної пружності пари, може також пасивно

пересуватися із струмом повітря. Вміст в ґрунті пароподібної вологи залежить від ряду чинників, в першу чергу від вогкості, шпаруватості і температури ґрунтового середовища. Ця форма ґрунтової вологи має деяке значення у водопостачанні рослин. Це пов'язано з тим, що пароподібна волога при визначених температурі і тиску може конденсуватися і доповнювати вміст в ґрунті вільної або плівкової води.

Тверда волога. Ця форма води присутня в ґрунті при зниженні температури до нуля градусів і нижче. Вона нерухома і недоступна для рослин, але є резервом доступної вологи, яка виникає після танення льоду. Крім того, лід виконує важливу функцію формування структури ґрунту.

7.6. Водні властивості ґрунтів і ґрунтово-гідрологічні константи

Основними водними властивостями ґрунтів є водопроникність, водоутримуюча і водопідіймальна здатність.

Водопроникність - це здатність ґрунту вбирати і пропускати через себе воду.

Процес насичення ґрунту при випаданні опадів розділяють на дві фази: вбирання і фільтрації. Вбирання регулюється фізичними процесами змочування і капілярного переміщення вологи, оскільки волога може переміщатися під дією капілярних сил в будь-якому напрямі. Після насичення ґрунту утворюється гравітаційна волога, яка вже здатна перетікати під дією натиску або ухилу дзеркала води. Інтенсивність водопроникності визначається гранулометричним складом ґрунтів. У легких піщаних ґрунтах пори мають крупні розміри, капілярні сили незначні і вода легко проходить через ґрунт, швидко потрапляючи в нижні горизонти навіть при рясних опадах.

У ґрунтах, що містять значну кількість глинистих мінералів, водопроникність визначається густиною складання ґрунтів і їх структурою. У важких глинистих ґрунтах водопроникність низька, в добре оструктурених

чорноземах вона характеризується вищим значенням. По суті в чорноземах завдяки агрегатованості ґрунту водопроникність оптимальна.

Катіони натрію, що містяться в деяких ґрунтах, сприяють їх сильному набухання, що знижує водопроникність. Н.А. Качинським запропоновані емпіричні критерії ступеня водопроникності, представлені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Кількісні критерії водопроникності ґрунту

Ступінь водопроникності	Кількість води (мм), що пропускається ґрунтом за 1 ч при натиску 5 см і температурі 10 град З
Провальна	Більше 1000
Зайве висока	1000-500
Якнайкраща	500-100
Хороша	100-70
Задовільна	70-30
Незадовільна	Менше 30

З даних виходить, що для оптимального розвитку рослинності необхідний якнайкращий ступінь водопроникності. Так при провальній водопроникності осідання зразу ж йдуть в нижні горизонти, не затримуючись в ґрунтовому верхньому шарі, де розташована більшість корневих систем рослин. Такі ґрунти несприятливі для розвитку рослин і ті часто гинуть при засухах.

При незадовільній проникності виникає декілька несприятливих чинників. По-перше, при випаданні частих опадів вода не встигає проникати углиб ґрунти і рослини можуть вимокати. По-друге, такі ґрунти часто схильні площинною, а потім і лінійної ерозії через змив тонких частинок з поверхні. Змив виробляється потоками дощових вод, які не встигають проникати в ґрунт. Тільки якнайкращий і хороший ступінь водопроникності забезпечують оптимальний розвиток

рослинності, оскільки такі ґрунти встигають поглинати вологу і разом з тим не втрачають її в ґрунтові горизонти, розташовані нижче.

Водоутримуюча здатність - це здатність ґрунтових пір утримувати воду.

Одним з чинників, що визначають водоутримуючу здатність ґрунтів, є їх вологоємність. Вологоємність відображає максимальну кількість вологи, яка може бути накопичена ґрунтом за допомогою певних сил (капілярних, адгезії і т.д.). Так максимальна кількість пароподібної вологи, яку здатна утримувати ґрунт називається її гігроскопічністю.

Величина гігроскопічності визначається питомою поверхнею частинок і агрегатів, що складають ґрунт, складом мінералів, наявністю гумусу і складом обмінних підстав. Чим більше за дрібні частинки в ґрунті, тим вище її питома поверхня і тим більше пароподібної вологи здатний накопичити ґрунт. Гігроскопічність росте при збільшенні змісту гумусу і місткості поглинання катіонів. Ґрунти, що містять глинисті мінерали у вигляді монтморіллону більш гігроскопічні, ніж ті, які складаються з ілліту або каолініту. Ступінь гігроскопічності залежить від вогкості повітря і приймає максимальне значення при 100% вогкості. У такому стані ґрунт володіє максимальною гігроскопічною вогкістю (МГВ).

Частинки ґрунту і їх контакти мають складну форму. На увігнутих ділянках елементарних ґрунтових частинок створюються меніски, в яких волога накопичується за рахунок сил когезії, тобто молекули води притягуються вже не до поверхні твердої частинки, а один до одного. Фактично шари частинок, які прикріплюються до першого шару прочносвязанной вологи і вода капілярної конденсації на ділянках западин не належить до гігроскопічної вологи. Поєму введено спеціальне поняття максимальної адсорбційної вологоємності ґрунтів (МАВ), яка обумовлена чисто сорбційними силами тяжіння молекул води до поверхні твердої частинки. Встановлено, що МАВ на 30-40% менше, ніж максимальна гігроскопічна вогкість.

Не дивлячись на деяку умовність, МГВ достатньо просто визначається експериментально і тому використовується в агрономічній практиці. За допомогою величини МГВ розраховується кількість труднодоступної для рослин вологи. Така волога характеризує вогкість стійкого зав'ядання рослин, яка в піщаних легких ґрунтах складає 0,1-1%, а в глинистих досягає 10-15%.

Над шаром міцно зв'язаної вологи розташовується плівкова рихло зв'язана вода. Її найбільший можливий вміст в ґрунтах характеризується максимальною молекулярною вологоємністю (ММВ), яка у піщаних ґрунтів не перевищує 5-7%, а у глинистих 25-30%. У міру подальшого накопичення вологи зв'язок молекул з ґрунтовими частинками стає все слабкішим і рихло зв'язана вода переходить у вільну.

Максимальна кількість вологи, яку ґрунт здатний утримати в порах, зазорах між ґрунтовими агрегатами і капілярах, називається повною вологоємністю (ПВ). Така вологоємність реалізується в природі тільки у тому випадку, коли накопичена волога підпирається знизу ґрунтовими водами. В цьому випадку повна вологоємність досягається після повного насичення ґрунту, коли вода, що знов прибуває, починає стікати з поверхні ґрунту по ухилу.

Якщо такого водопідпірного горизонту немає, тоді частина вільної вологи провалюється в нижні горизонти, а волога, що залишилася, характеризує якнайменшу (НВ) або гранично-польову вологоємність (ППВ). У добре оструктурених ґрунтах НВ досягає 30-35% від маси сухого ґрунту, в піщаних ґрунтах вона не перевищує 10-15%. Волога, відповідна якнайменшій вологоємності, утримується в ґрунті в основному за допомогою капілярних сил.

В стані граничної польової вологоємності ґрунт володіє найсприятливішими умовами для розвитку рослин, оскільки вона забезпечує оптимальну кількість вологи і ґрунтового повітря для рослин. За допомогою ППВ розраховують необхідну для поливу кількість вологи, яка рівна різниці між ППВ і фактичною вогкістю ґрунту. Слід зазначити, що оптимальний зміст вологи з погляду розвитку рослин має певний діапазон. Він рівний (0,65-1) від ППВ. При

вогкості менше 0,65 ППВ відбувається розрив водних капілярних каналів, тобто безперервні канали води в капілярах розпадаються на окремі фрагменти. Така вогкість називається вогкістю розриву капілярів (ВРК). При вогкості нижче ВРК відбувається уповільнення розвитку рослин.

Водопідіймальна здатність ґрунтів - це властивість ґрунтів піднімати вологу по капілярних порах і каналах з нижніх шарів у верхні. Найпродуктивніші пори і канали мають діаметр в межах від 0,003 до 0,1 мм. Такі пори піднімають воду на найбільшу висоту і забезпечують максимальну швидкість підняття. Крупніші пори створюють менші підйомні сили, а пори, дрібніше 0,003 мм володіють низькою продуктивністю, оскільки вода в них втрачає властивості вільної вологи і придбаває властивості плівкової. В цілому висота підняття води тим більше, чим більше вміст глинистих мінералів в ґрунті і гумусу, а також чим дрібніші елементарні ґрунтові частинки.

У табл. 7.2 приведені характерні параметри водопідіймальної здатності ґрунтів різного складу.

Таблиця 7.2

Водопідіймальна здатність різних ґрунтів

Характеристика ґрунту по гранулометричному складу	Типова висота підняття води, м
Пісок крупний	0,5
Пісок середній	0,5-0,8
Супісок	1,0-1,5
Супісок пильований	1,5-2,0
Суглинок середній	2,5-3,0
Суглинок важкий	3,0-3,5
Глина важка	4,0-6,0
Льосси	4,0-5,0

Водопідіймальна здатність ґрунтів має важливе агрономічне значення. Ґрунти з високою водопідіймальною здатністю мають нагоду піднімати ґрунтові води у верхні горизонти ґрунту, забезпечуючи рослини вологою в посушливі періоди. Проте у важких ґрунтах висока водопідіймальна здатність може бути причиною втрати вологи у вигляді її випаровування в атмосферу. Особливо несприятливо випаровування вологи при заляганні високо мінералізованих ґрунтових вод, внаслідок чого відбувається засолення верхніх горизонтів ґрунтів. В цьому випадку застосовують спущення верхнього солячи ґрунти, щоб збільшити пори і розміри капілярів. Це приводить до зниження інтенсивності підйому води в самому верхньому ґрунтовому шарі.

Основна волога витрачається рослиною на транспірування і лише невелика її частина на створення біомаси. Коефіцієнт транспірування характеризує відношення кількості води, витраченого рослинами в одиницю часу, до загальної кількості сухої речовини, накопиченої рослинами за цей же час. Максимальне транспірування рослин спостерігається при вільному доступі води, тобто при її наявності в межах гранично-польової вологості. При меншому вологозабезпеченні рослини випаровують меншу кількість вологи. Відношення цих величин називається відносним транспіруванням. При вогкості стійкого зав'ядання величина відносного транспірування близька до нуля, а при ППВ - до одиниці.

Для створення 1 тонни сухої речовини більшість рослин витрачає від 400 до 600 тонн води. Та частина вільної вологи в ґрунті, який використовується рослинами для метаболізму називається продуктивною вологою. Продуктивна волога утримується меншими силами, ніж сила корневих волосків, що смокче, яка у більшості рослин не перевищує 1,5 МПа.

При вичерпанні продуктивної вологи рослини починають зав'ядати. Вогкість зав'ядання (ВЗ) розраховується по формулі

$$ВЗ = 1,5 \text{ МГВ} .$$

У більшості рослин коефіцієнт зав'ядання рівний в середньому 1,5. У піщаних ґрунтах вогкість зав'ядання складає 1-3%, у супіщаних 3-6%, у суглинних 6-15%, у торф'яно-болотяних більше 50%.

Інтервали вогкості, при яких фізичні властивості вологи міняються, називаються ґрунтово-гідрологічними константами (мал. 7.5). Основні і широко використовувані в агрономічній практиці константи наступні: максимальна гігроскопічність (МІЛІГРАМ), вогкість зав'ядання (ВЗ), вогкість розриву капілярів (ВРК), якнайменша вологоємність (НВ) і повна вологоємність (ПВ). Такі константи використовуються фахівцями для визначення запасів води в ґрунті і ступені забезпеченості рослин доступною вологою.

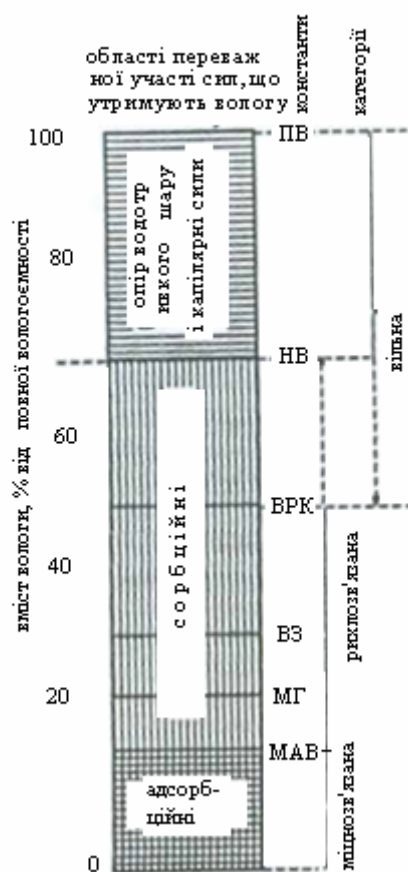


Рис. 7.5. Категорії води та ґрунтово-гідрологічні константи

Згідно до А.А. Роді вода по доступності рослинам ділиться на п'ять категорій - від недоступної до надмірної.

1. Вода недоступна для рослин представлена міцно зв'язаною водою. Межа вогкості при цьому близька до максимальної адсорбційної вологоємності. Сили зв'язку молекул води на поверхні твердих частинок набагато перевершують силу корневих волосків рослин, що смокче.

2. Вельми труднодоступна волога складається з рихло зв'язаної (плівкової) води, що створює вогкість ґрунтів в діапазоні від МАВ до вогкості стійкого зав'ядання. Така вода слабо рухома оскільки ще досить міцно пов'язана з першими шарами адсорбованих молекул.

3. Труднодоступна вода формує вогкість в діапазоні ВЗ і ВРК. При такій вогкості рослини продовжують розвиватися, але їх продуктивність різко знижується.

4. Середньодоступна волога знаходиться в діапазоні від ВРК до НВ. Чим ближча вогкість до якнайменшої вологоємності, тим продуктивність рослин вища.

5. Досяжна волога, перехідна в надмірну, знаходиться в межах від якнайменшої до повної вологоємності. Надмірна волога займає крупні пори і утрудняє аерацію, що приводить до вимокання кореневої системи рослин або до заболочування ґрунту.

7.7. Водний режим ґрунтів і його типи

Сукупність процесів, що відбуваються, в ґрунті, пов'язаних з надходженням, пересуванням, фізичним перетворенням, утриманням і витратою води називається водним режимом ґрунту. У кількісному відношенні водний режим характеризують балансом води, який відображає співвідношення між вологою в ґрунті, яка надходить та витрачається.

Прибуткова частина балансу включає запаси ґрунтової води на початку спостереження, кількість вологи, що надходить в ґрунт з атмосферними опадами, ґрунтові води, внутрішньоґрунтові бічні притоки ґрунтових вод і конденсацію

пари води. Витратна частина балансу представлена кількістю вологи, що витрачається на випаровування, транспірування, бічну і вертикальну фільтрацію і поверхневий стік.

Основним показником, що характеризує водний режим ґрунтів, є коефіцієнт зволоження (КУ). Він є відношенням кількості опадів, випадних на поверхню ґрунту протягом року до кількості води, що випаровується за той же період. Залежно від кліматичних умов і географічного місцеположення ґрунту КУ змінюється від 0,1 до 3. Чим більше коефіцієнт, тим більшими запасами вологи володіє ґрунт. Згідно з А.А. Роді залежно від величини коефіцієнта зволоження і характеру водного обміну ґрунту діляться на наступні типи у порядку зменшення величини коефіцієнта зволоження від максимуму до мінімуму.

Тип мерзлоти властивий для районів, в яких поширена вічна мерзлота. При цьому в літні періоди відтає тільки верхній шар ґрунту, під яким знаходиться замерзла водотривка товща. Водотривкий шар не пропускає воду, що відтанула, внаслідок чого весь вегетаційний період рослини забезпечені достатньою кількістю вологи.

Водозастійний тип характерний для болотяних ґрунтів, вогкість яких майже весь вегетаційний період близька до повної вологоємності.

Промивний тип поширений на територіях, де сума річних опадів значно перевищує об'єм випаровуваної води. Цей тип характеризується коефіцієнтом зволоження великим одиниці. При промивному типі водного режиму низхідні потоки вологи переважають над висхідними, внаслідок чого відбувається вимивання живильних речовин з верхнього гумусного шару, вилуговування і розвиток подзолообразовательного ґрунтового процесу (мал. 7.6, а). Промивний водний режим типовий для умов України в лісових і гірських районах центральної і північної частини країни.

Непромивний тип властивий для районів, в яких опади розподіляються тільки у верхніх шарах ґрунту і не досягають ґрунтових вод (мал. 7.6, б). При цьому волога, що поступила з опадами, відокремлена від горизонтів залягання

ґрунтових вод ґрунтовими і ґрунтовими шарами, вогкість яких близька до вогкості стійкого зав'ядання рослин. Водний баланс для таких режимів характеризується значенням коефіцієнта зволоження меншим одиниці. Типовими районами, де виявляється непромивний водний режим, є чорноземи степової зони, напівпустинні і сіро-бурі пустинні ґрунти. У напівпустинних зонах такі водні режими вимагають додаткового поливу для нормального розвитку рослин. Проте в тих місцях де розвинена степова повсть і дернина (наприклад, цілинні землі заповідників) низхідний потік вологи може навіть перевищувати висхідний, оскільки волога віддається з ґрунту в основному шляхом транспірування, яке у трав'янистої рослинності незначна. Тобто втрати з випаровуванням вологи з поверхні ґрунту мінімальні.

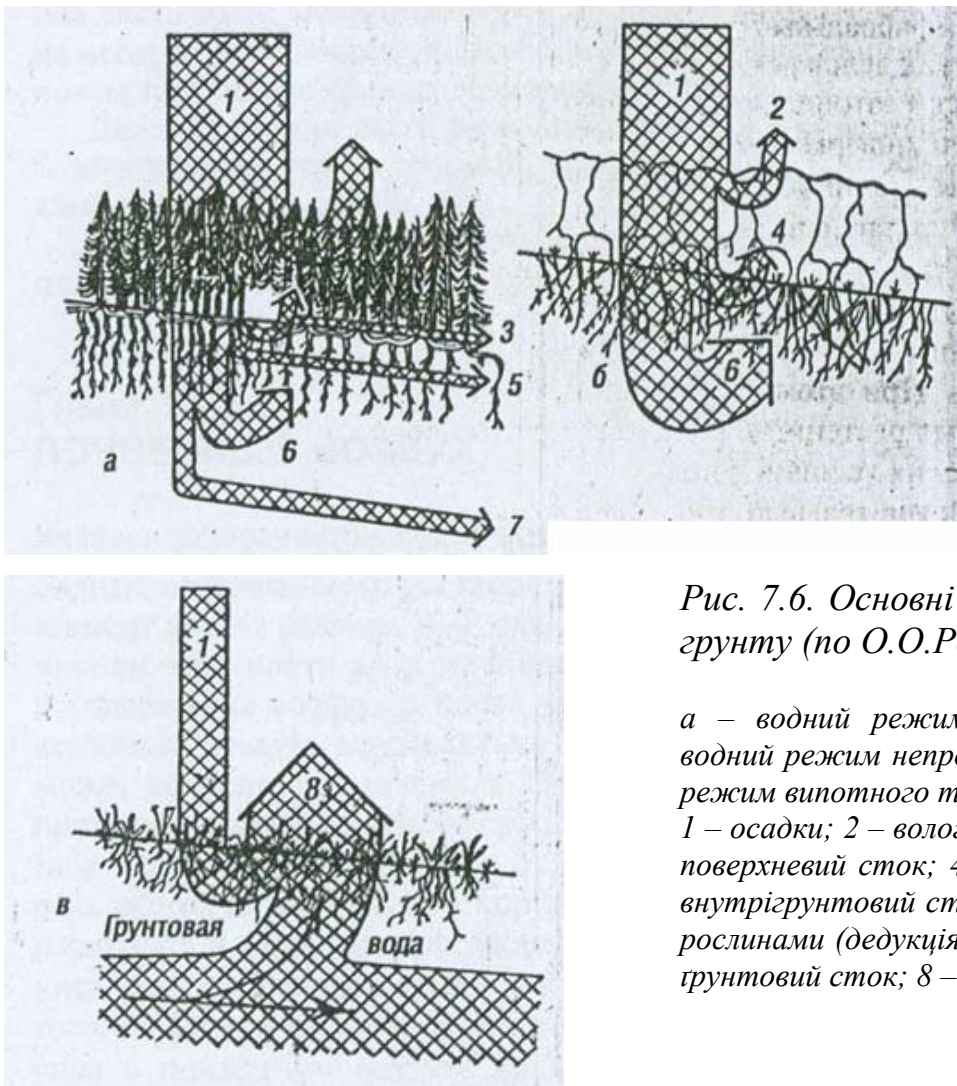


Рис. 7.6. Основні типи водного режиму ґрунту (по О.О.Роде)

а – водний режим промивного типу; б – водний режим непромивного типу; в – водний режим випотного типу.

1 – осадки; 2 – волога затримана кронами; 3 – поверхневий сток; 4 – фізичне випарення; 5 – внутріґрунтовий сток; 6 – волога, споживана рослинами (дедукція рослинним покривом); 7 – ґрунтовий сток; 8 – випарення та десукція

Аридний тип водного режиму характерний для пустель і напівпустель. Протягом всього року вологість ґрунтів в таких зонах близька до вологості стійкого зав'язання.

Випітний тип характеризується коефіцієнтом зволоження, значно меншим одиниці. Такий тип характерний для посушливих районів, в яких ґрунтові води близькі до поверхні і де виявляється водопідіймальна здатність ґрунтів (мал. 7.6, в).

Паводковий тип свойственен ґрунтам, які періодично затоплюються річковими, схилами, дощовими водами.

Іригаційний і осушний типи є штучними водними режимами, Вони створюються людиною шляхом періодичних поливів ґрунту або їх штучним осушенням. В цьому випадку напрям водного балансу періодично змінюється, тобто переважання низхідних потоків вологи то виявляється, то зникає.

7.8. Підсумки розділу

1. Вода бере активну участь в біологічних перетвореннях, служить субстратом для фотосинтезу, є одним з продуктів процесу дихання і створює умови зовнішнього середовища, які забезпечують можливість життя. Як кліматичний чинник вона регулює температуру на поверхні землі, знаходячись в атмосфері, частково затримує сонячну радіацію і зменшує дію екстремальних температур.

2. В процесі транспірування в листі рослин вода переходить з рідкого стану в пароподібний. В цей час відбувається поглинання енергії молекулами води, вона витрачається на розрив водневих зв'язків, що мали місце між молекулами води. Таким чином, фазові переходи води мають велике значення в тепловому балансі рослин, забезпечуючи зразкову постійність температури їх тіла.

3. Вода володіє дуже високою теплоємністю, тому поглинання або втрата значної кількості тепла тканинами рослин супроводжується порівняно невеликими коливаннями їх температури. Це дозволяє рослинному організму

сприймати коливання температури навколишнього середовища в пом'якшеному вигляді.

4. Вода в рослині знаходиться як у вільному стані, так і в зв'язаному. Вільної називають воду, що зберегла всі або майже всі властивості чистої води. Вільна вода легко пересувається, вступає в різні біохімічні реакції, випаровується в процесі транспірування і замерзає при низьких температурах.

5. Взаємодія молекул води з твердими ґрунтовими частинками регулюється силами адгезії, які залежно від близькості молекули води до твердої поверхні істотно змінюють фізичні властивості води.

6. Ступінь змочування визначається співвідношенням робіт когезії (зв'язки молекул води або повітря між собою) і адгезії (сил зчеплення молекул води і поверхні твердої частинки ґрунту). Це співвідношення виражається крайовим кутом змочування, який визначається як нахил поверхні води до поверхні твердої частинки в точці розділу трьох фаз

7. Висота підйому води в капілярах пропорційна косинусу крайового кута змочування і обернено пропорційна радіусу капіляра. Таким чином, чим краще змочується ґрунт і чим менше розмір мікротріщин і пір, що повідомляються, тим вище підіймається волога під дією капілярних сил. Такі капілярні сили здатні передавати вологу з верхніх горизонтів ґрунтових вод до земної поверхні, внаслідок чого формується так званий випітний водний режим ґрунту.

8. По ступеню доступності ґрунтової вологи для рослин вона розділяється на наступні типи: гравітаційна, капілярна, плівкова і гігроскопічна вода. Вода двох останніх типів практично недоступна для рослин унаслідок того, що сили, що утримують молекули води у поверхні твердих ґрунтових частинок більше, ніж сила корневих волосків рослин, що смокче.

9. Основними водними властивостями ґрунтів є водопроникність, водоутримуюча і водопідіймальна здатність. Максимальна гігроскопічність (МІЛІГРАМ), вогкість зав'ядання (ВЗ), вогкість розриву капілярів (ВРК), якнайменша вологоємність (НВ) і повна вологоємність (ПВ) є основними

гідрологічними ґрунтовими константами. Такі константи використовуються фахівцями для визначення запасів води в ґрунті і ступені забезпеченості рослин доступною вологою.

10. Водні режими ґрунтів розрізняють по величині коефіцієнта зволоження і характеру руху низхідних і висхідних потоків в ґрунті. Водними режимами ґрунтів України, що найчастіше зустрічаються, є: промивний, при якому величина приток вологи в ґрунт перевищує величину випаровування; непромивний, при якому притока води і випаровування приблизно рівні; і випітний, який характеризується істотним переважанням випаровування над притоками.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні функції води в ґрунті.
2. Як вода стабілізує температуру рослин?
3. Перерахуйте форми води в ґрунті і рослинах.
4. Які сили зв'язують молекули води і частинки ґрунту?
5. Чи можуть змінюватися фізичні властивості води при попаданні в ґрунт?
6. Від чого залежить висота підняття води в ґрунтових капілярах?
7. Перерахуйте основні типи вологи і охарактеризуйте силу її зв'язку з поверхнями ґрунтових частинок.
8. Перерахуйте основні водні властивості ґрунту.
9. Охарактеризуйте основні водні режими ґрунтів.

8. ГРУНТОВЕ ПОВІТРЯ

8.1. Введення

Грунтове повітря займає пори в ґрунті, які вільні від води. У зв'язку з цим його кількість визначається пористістю ґрунту і його вогкістю. Сухі ґрунти містять максимальну кількість ґрунтового повітря, причому залежно від пористості ґрунту повітря може займати від 25 до 90% загального об'єму. Із збільшенням вогкості вміст повітря в ґрунті зменшується. Не дивлячись на те, що повітря в ґрунт поступає з атмосфери, його склад істотно відрізняється від атмосферного.

В основному ґрунтове повітря збагачене вуглекислим газом, який виділяється при диханні коріння рослин і живих організмів, що мешкають в ґрунтовому шарі. Якщо кисень, використовуваний для окислення вуглецю, не поповнюється у міру його витрачання, процеси життєдіяльності в ґрунті сповільнюються. При цьому пригноблюються рослини, зменшується споживання води, живильних речовин і зростання коріння. В результаті розвиваються відновні процеси і падає родючість ґрунту. Процес газообміну або аерації ґрунту заповнює кисень, що постійно витрачається. Це обумовлює його важливе значення для процесу ґрунтоутворення і нормального розвитку рослин.

8.2. Атмосфера ґрунту

Повітря знаходиться в ґрунті в наступних основних формах або станах: вільне, вільне затиснене, адсорбоване і розчинене.

Вільне повітря має нагоду переміщатися по порах і тріщинах в ґрунтових шарах і обмінюватися з атмосферою. Як правило, вільне повітря займає крупні пори, у міру того, як з них виходить гравітаційна волога.

Проте волога не завжди йде з пор і капілярів повністю. У тому випадку, коли повітря замкнуте в капілярах водяними пробками, воно називається вільним затисненим. Вільне затиснене повітря в більшості випадків займає 5-8% пор, а

його об'єм $R_{зв}$ визначається різницею між загальною пористістю $R_{заг}$ і об'ємом пор, зайнятих водою при вогкості, рівній повній вологості ПВ, по співвідношенню:

$$R_{зв} = R_{заг} - r_{сл} ПВ .$$

Найбільша кількість вільного затисненого повітря міститься в глинистих ґрунтах (до 12%), оскільки саме в глинах є велика кількість капілярів. При підвищенні температури ґрунту затиснене повітря нагрівається і починає розширяться, розсовуючи стінки пор і капілярів. Таким чином реалізується механізм формування або руйнування структури ґрунтових шарів. Аналогічний процес розвивається, як згадувалося вище, і при замерзанні і відтаванні ґрунтів.

Адсорбоване ґрунтове повітря як правило міститься в значних кількостях в сухих ґрунтах. Чим більше органічної речовини в ґрунті, особливо у вигляді гумусу, тим більше ґрунт здатний абсорбувати повітря. Механізм адсорбції молекул газу такий же, як і механізм адсорбції води. Проте енергія зв'язку молекул газу з твердою фазою набагато менше, ніж у молекул води. Саме тому після досягнення вогкості вище за поріг максимальної гігроскопічності, майже все повітря, що адсорбується, витісняється водою.

Розчинене ґрунтове повітря знаходиться в ґрунтовій волозі. Розчинені гази не беруть участь в процесах газообміну з атмосферою. Проте вони виконують важливу роль, регулюючи фізико-хімічні процеси і задовольняючи фізіологічні потреби рослин і організмів, що мешкають в ґрунті. У міру розчинення вуглекислого газу в ґрунтовій воді збільшується її кислотність, що підвищує розчинність карбонатів. Так само діє кисень, підвищуючи окислювальну дію ґрунтового розчину. По насиченості ґрунтового розчину киснем судять про активність ґрунтових організмів. Чим вона вища, тим інтенсивніше споживається кисень, у тому числі і з ґрунтового розчину і тим менша концентрація кисню в цьому розчині. Саме тому максимальна насиченість ґрунтового розчину киснем

спостерігається на початку весняного періоду, коли ґрунт і волога, яка міститься в ньому, мають ще низьку температуру, що стримує біологічну активність ґрунтових організмів.

Ґрунтове повітря істотно варіює свій склад на відміну від атмосферного. Тільки два основні гази, якими є кисень і азот, можуть змінювати в ґрунтовому повітрі свій вміст в два і більше разів. Протягом активних вегетаційних періодів вміст вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі може збільшуватися в десятки разів, що принципово неможливе для атмосферного повітря. Таке коливання відсоткового складу газових компонент ґрунтового повітря обумовлене активністю рослинної і органічної маси ґрунту. У добре структурованих ґрунтах, які мають велику кількість гумусу і стійкі агрегати з достатньою кількістю каналів, що проводять повітря, вміст двоокису вуглецю стабільний і навіть у вегетаційні періоди тримається на рівні 1%. Проте, у важких глинистих ґрунтах, особливо при зволоженні вміст вуглекислого газу може збільшуватися до 6% і більш, а кількість кисню падати до 15% і нижче. Так в період активного вегетаційного періоду вміст кисню в чорноземі коливається в межах 19,5-20,9% а вуглекислого газу 0,3-0,8%. У мулистоболотяному ґрунті в цей же період типовий вміст кисню складає 11-19% а діоксиду вуглецю 1,1-9%. Такий перерозподіл газового складу відбувається через погану аерацію ґрунту, що негативно позначається на життєдіяльності рослин і ґрунтових мікроорганізмів.

Вміст азоту в ґрунтовому повітрі приблизно такий ж як і в атмосферному. Така стабільність обумовлена інертністю молекулярного азоту.

Три вищезазначені гази іменуються ґрунтовими макрогазовими складовими.

Окрім макрогазів в ґрунті містяться мікрогази, до яких відносяться закис і оксид азоту, оксид вуглецю, граничні і неграничні вуглеводні, водень, сірководень, аміак, меркаптани, терпени, спирти, пари різних органічних і неорганічних кислот. Деякі мікрогази можуть накопичуватися в зв'язаному вільному ґрунтовому повітрі при погіршенні процесу аерації, що приводить до пригноблення коріння рослин. Мікрогази можуть потрапляти в ґрунт з опадами в

результаті забруднення навколишнього середовища, а також накопичуватися в процесі метаболізму мікроорганізмів, розкладання органічних речовин, добрив і пестицидів.

8.3. Транспорт газів

Одним з найважливіших характеристик газообміну в ґрунтовому повітрі є коефіцієнт дихання ґрунту, який чисельно рівний відношенню кількості вуглекислого газу, що виділяється, до поглиненої кількості кисню. Добре структуровані ґрунти з активним режимом аерації в ідеалі повинні мати коефіцієнт дихання, рівний одиниці. Це значить, що в результаті метаболізму рослини і організми, які мешкають в ґрунті, виділяють стільки вуглекислого газу, скільки поглинають кисню для свого дихання.

У загальному випадку ґрунт виділяє від 0,01 до 1,5 г/(м² ч) CO₂. Чим гірше газообмін в ґрунті і чим вища активність рослин і мікроорганізмів, тим більше виділення вуглекислого газу перевищує швидкість поглинання кисню. Разом з тим цей процес є саморегульованим. З одного боку збільшення концентрації діоксиду вуглецю пригнічує активність розвитку рослин і мікроорганізмів, що автоматично зменшує виділення вказаного газу. З другого боку розвиток кореневої системи і накопичення гумусу сприяє структуризації ґрунту, поліпшенню його гранулометричного складу і агрегатованості, що підвищує ступінь його аерації. Таким чином вказані процеси знаходяться в стані зворотного динамічного взаємозв'язку, внаслідок чого формується динамічна рівновага і встановлюється певне значення коефіцієнта дихання. Його величина періодично коливається протягом доби і сезонів у зв'язку із зміною теплового і водного режиму ґрунтів.

Азот є одним з макрогазів, який входить до складу органічних сполук, білків, амінокислот, ферментів і дуже важливий для розвитку рослин і ґрунтової фауни, включаючи мікроорганізми. Азот накопичується у складі гумусу, проте в процесі денітрифікації і утворенні молекулярного азоту і супутніх йому

мікрогазів втрачається з ґрунту. Таким чином, необхідно, щоб баланс азоту підтримувався так, щоб рослини і мікроорганізми мали досить початкового макрогазу для його скріплення і засвоєння.

Кисень як другий за вмістом макрогаз потрапляє з атмосферного повітря за допомогою процесу дифузії, а також частково в розчиненому вигляді з опадами і через рослинні тканини. Без наявності кисню припиняється активність рослин і мікроорганізмів, оскільки кисень використовується для дихання. Як тільки вміст кисню падає нижче 10-15%, в ґрунті розвиваються анаеробні процеси, що приводять до накопичення великої кількості токсичних з'єднань, які пригнічують розвиток рослин і мікроорганізмів. Ясно, що і макрофауна в таких умовах також пригнічується. Залежно від сезону вміст кисню в ґрунті може змінюватися від часток відсотків до 21%, тобто діапазон його вмісту наближається до максимально можливого.

Вуглекислий газ виділяється в результаті дихання рослин і організмів і характеризує біологічну активність ґрунтових шарів в цілому. Частково діоксид вуглецю поступає в ґрунт з ґрунтовими водами, з опадами, при окисленні карбонатів. Як правило, приземний шар атмосфери збагачений вуглекислим газом, який потрапляє з ґрунту також під дією процесу дифузії. Так під час інтенсивного розвитку рослин і нормальної аерації ґрунту в приземний шар повітря з 1м³ ґрунту поступає від 2 до 10 літрів вуглекислоти. Це сприяє підвищенню асиміляції вуглекислого газу рослинами в процесі фотосинтезу.

Таким чином, оптимальний вміст макрогазів в ґрунті виконує позитивну роль в розвитку рослин і ґрунтової біоти в цілому. Проте надмірне накопичення вуглекислого газу приводить до пригнічення біологічної активності ґрунту і уповільнення процесів ґрунтоутворення.

8.4. Проникність ґрунтів для повітря

Оскільки склад атмосферного повітря відрізняється від складу ґрунтового, концентрація окремих газів у вказаних сумішах різна. Як тільки виникає перепад

концентрації газів, починається процес дифузії, або перетікання молекул окремого газу з об'єму, де його концентрація вища, в об'єм із зниженою концентрацією. Говорять, що дифузійний потік молекул направлений у бік меншого парціального тиску газу. Це означає, що дифузія є основним фізичним процесом, який відповідає за аерацію ґрунтів.

Зі сказаного витікає, що аерація відбувається не у вигляді механічного перетікання всього повітря з атмосфери в ґрунт, а у вигляді окремих дифузійних і, як правило, різноспрямованих потоків. Так кисень перетікає з атмосфери в ґрунт, а вуглекислий газ рухається у зворотному напрямі.

Другою рушійною силою, що приводить до газового обміну, є надходження вологи в ґрунт або її висихання. При цьому волога виконує поршневу дію, витісняючи ґрунтове повітря, або засмоктуючи його назад в ґрунт. У набагато меншому ступені аерація ґрунтів регулюється вітром і перепадами атмосферного тиску, а також конвективними потоками.

Таким чином, головним чинником аерації ґрунтів є дифузія, яка чисельно виражається коефіцієнтом дифузії. Коефіцієнт дифузії визначається як об'єм газу, здатний пройти через одиничний перетин ґрунту в одиницю часу при одиничній товщині ґрунтового шару і одиничному перепаді концентрації молекул даного газу. Розмірність коефіцієнта дифузії складає $\text{м}^2/\text{с}$. У зв'язку з тим, що повітря в ґрунті обмежене стінками пор і капілярів, величина коефіцієнта дифузії в ньому на порядок менше, ніж в атмосферному повітрі.

Звичайно нормальний повітрообмін в ґрунті забезпечується при об'ємі пор аерації (вільних від води) рівному 20% і більш. Повітропроникність ґрунту визначається перш за все його гранулометричним складом, структурою, наявністю ґрунтових агрегатів. Чим більше вміст крупних пор, тим краще повітропроникність ґрунту. У практиці використовують емпіричний показник повітропроникності ґрунту, подібний водопроникності. Цей показник обчислюється як об'єм повітря, який проходить в одиницю часу через одиничну площу ґрунту одиничної товщини і певному перепаді тиску. Повітропроникність

вимірюється в мм, тобто відповідає висоті об'єму одиничної площі. Повітропроникність ґрунтів змінюється у декілька разів, а то і на порядок залежно від структури ґрунту і його вогкості.

Повітряємність ґрунтів визначається відносним об'ємом вільних від вологи пор. У ґрунтах, що знаходяться в легко-сухому стані повітряємність близька до максимальної за вирахуванням об'єму пор, зайнятих гігроскопічною вологою.

Вважається, що оптимальні умови аерації мінеральних ґрунтів забезпечуються при вмісті ґрунтового повітря на рівні 20-25%, а в торф'яних ґрунтах 30-40%. При падінні повітряємності нижче 15% газообмін між атмосферою і ґрунтом розглядається як незадовільний.

8.5. Повітряний режим ґрунтів

Під повітряним режимом ґрунтів розуміють сукупність процесів надходження, пересування, зміни газового складу і фізичного стану ґрунтового повітря при його взаємодії з твердим, рідким, органічним фазами ґрунту і атмосферою.

Повітряний режим ґрунтів схильний до циклічної динаміки. Добова динаміка найбільш виражена протягом вегетативного періоду і обумовлена коливанням процесу фотосинтезу, який активно протікає вдень, температурою, і тиском атмосферного повітря. Добова динаміка повітряного режиму зачіпає верхній ґрунтовий шар на глибині не більш 50см і може відновити близько 10-15% ґрунтового повітря.

Річна або сезонна динаміка повітряного режиму визначається зміною кількості опадів, температури, активності рослин і ґрунтових організмів. Звичайно у весняно-літній період сезонна динаміка повітряного режиму приводить до збільшення концентрації вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі і зменшенню кисню, що обумовлене життєдіяльністю біоти і розвитком диханням рослин. До осені-зими біологічна активність затухає, внаслідок чого накопичення вуглекислоти сповільнюється, і вона встигає дифундувати в атмосферу.

Відповідно кисень з атмосферного повітря дифундує в ґрунтового повітря і концентрації вказаних газів в ґрунті і атмосфері зближуються. Іншим словами при уповільненні біологічної активності в ґрунті процеси дифузії встигають вирівнювати парціальний тиск (концентрацію молекул) окремих газів в атмосферному і ґрунтовому повітрі.

Підтримка оптимального повітряного режиму в ґрунті досягається рядом агротехнічних заходів. Найпростішим є спущення верхнього ґрунтового шару, яке необхідне особливо після поливу або випадання опадів. Для поліпшення повітряного режиму ґрунтів використовується також внесення органічних добрив, посів багаторічних трав, вапнування кислих і гіпсування лужних ґрунтів. Як бачимо, всі ці заходи впливають, перш за все, на структуру ґрунтового шару, збільшують вміст гумусу і органіки. На заболочених ґрунтах повітряний режим поліпшується в першу чергу меліорацією, внаслідок чого зменшується кількість вологи і звільнюються вільні пори для попадання повітря.

8.6. Підсумки розділу

1. Аерація ґрунтів має важливе значення для процесу ґрунтоутворення та нормального розвитку рослин. Якщо кисень, використовуваний для окислення вуглецю, не поповнюється у міру його витрачання, процеси життєдіяльності в ґрунті сповільнюються. При цьому пригноблюються рослини, зменшується споживання води, живильних речовин і зростання коріння. В результаті розвиваються відновні процеси і падає родючість ґрунту. Процес газообміну або аерації ґрунту поповнює кисень, що постійно витрачається.

2. Ґрунтового повітря знаходиться у вільному, вільному затисненому, адсорбованому і розчиненому станах і істотно варіює свій склад на відміну від атмосферного. Протягом активного вегетаційного періоду в процесі розвитку рослин і життєдіяльності ґрунтової біоти виділяється вуглекислий газ, концентрація якого в ґрунтовому повітрі може підійматися у декілька разів і навіть на порядок. Відповідно концентрація кисню, що витрачається,

зменшується. Чим важчий ґрунт, і ніж він гірше структурований, тим вище вміст в ньому вуглекислого газу і менше кисню.

3. Азот, кисень і вуглекислий газ є ґрунтовими макрогазами. Вони використовуються для побудови білків, ферментів, клітковини, а також беруть активну участь в окислювально-відновних реакціях. Окрім макрогазів в ґрунті містяться мікрогази, до яких відносяться закис і оксид азоту, оксид вуглецю, граничні і неграничні вуглеводні, водень, сірководень, аміак, меркаптани, терпени, спирти, пари різних органічних і неорганічних кислот.

4. Однією з найважливіших характеристик газообміну в ґрунтовому повітрі є коефіцієнт дихання ґрунту, який чисельно рівний відношенню кількості вуглекислого газу, що виділяється, до поглиненої кількості кисню. Добре структуровані ґрунти з активним режимом аерації в ідеалі повинні володіти коефіцієнтом дихання, рівним одиниці. Чим гірше газообмін в ґрунті і чим вища активність рослин і мікроорганізмів, тим більше виділення вуглекислого газу перевищує швидкість поглинання кисню.

5. Дифузія є основним фізичним процесом, який відповідає за аерацію ґрунтів. При цьому аерація ґрунту відбувається за рахунок потоків окремих газів (як правило, стрічних) від місця підвищеної концентрації молекул у бік зниженої концентрації.

6. Повітропроникність ґрунту визначається перш за все його гранулометричним складом, структурою, наявністю ґрунтових агрегатів. Чим більше вміст крупних пор, і чим менше вогкість ґрунту, тим краще повітропроникність ґрунту. Повітряємність ґрунтів визначається відносним об'ємом вільних від вологи пор.

7. Оптимальні умови аерації мінеральних ґрунтів забезпечуються при вмісті ґрунтового повітря на рівні 20-25%, а в торф'яних ґрунтах 30-40%. При падінні повітряємності нижче 15% газообмін між атмосферою і ґрунтом розглядається як незадовільний.

8. Повітряний режим ґрунту складається з сукупності процесів надходження, пересування, зміни газового складу і фізичного стану ґрунтового повітря при його взаємодії з твердого, рідкого, органічного фазами ґрунту і атмосферою. Повітряний режим ґрунтів схильний до циклічної динаміки – добової і сезонної.

Питання для самоперевірки

- 1 Поясніть роль аерації ґрунтів для забезпечення нормального розвитку рослин.
- 2 Назвіть основні фізичні стани, в яких повітря знаходиться в ґрунтових шарах.
- 3 Поясніть роль макро- і мікрогазів ґрунту в підтримці оптимального зростання рослин.
- 4 Як визначається коефіцієнт дихання ґрунту?
- 5 Назвіть най достовірніший фізичний параметр, що характеризує біологічну активність ґрунту.
- 6 Перерахуйте основні повітряні властивості ґрунту.
- 7 Дайте характеристику оптимальних умов аерації ґрунтів.
- 8 Охарактеризуйте оптимальні умови аерації для суглинних ґрунтів.

9. ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА ҐРУНТУ

9.1. Введення

Органічна речовина ґрунту є основним чинником ґрунтоутворення і регулятором багатьох фізико-хімічних процесів, що протікають в ґрунтовому шарі. Органічна речовина ґрунту складається з рослинних залишків, живих організмів, починаючи від бактерій і вірусів і закінчуючи макрофауною, продуктів їх життєдіяльності і стабілізованого комплексу органічного матеріалу у вигляді гумусу. Гумус допомагає формувати міцні водостійкі зв'язки органічної і мінеральної складової, утворюючи таким чином структуру ґрунту і ґрунтові агрегати. Органічна речовина ґрунту і, перш за все, гумус створює буферні здібності ґрунтів, які стабілізують їх властивості, і забезпечує стійкість до несприятливих змін навколишнього середовища.

9.2. Глобальний цикл вуглецю

Основною складовою органічної речовини ґрунту є вуглець. Близько 12,2% органічного вуглецю накопичено в оброблюваних ґрунтах, 17,5% - в тропічних лісах, більше 20% - в лісових масивах помірного поясу, по 12% - в степових і тундрових зонах, 9% - на заболочених територіях. До 1960 року в результаті дихання рослин і ґрунтової біоти виділялося в атмосферу близько 60 гігатон (Гт) вуглецю щорічно. При цьому процеси фотосинтезу, поглинаючи вуглекислий газ і виділяючи кисень, в основному компенсували вказане виділення вуглецю. Але данні 2000 року свідчать про те, що цей баланс почав помітно порушуватися в результаті викидів від спалювання палива (близько 6 гігатон в рік) і знищення лісів на земній поверхні (1,6 Гт/г). Це привело до порушення теплового балансу планети і створило екологічну загрозу.

Цикл вуглецю вельми важливий для життєдіяльності рослин. В процесі життєдіяльності живі системи поглинають вуглекислоту з атмосфери і переводять вуглець з газоподібного в твердий стан у вигляді органічних сполук, які містять

вуглець. В процесі метаболізму або дихання рослин ці з'єднання знов розпадаються на вуглекислоту і воду. У глобальному масштабі вказані процеси, що утворюють так званий цикл вуглецю, показаний на рис. 9.1.

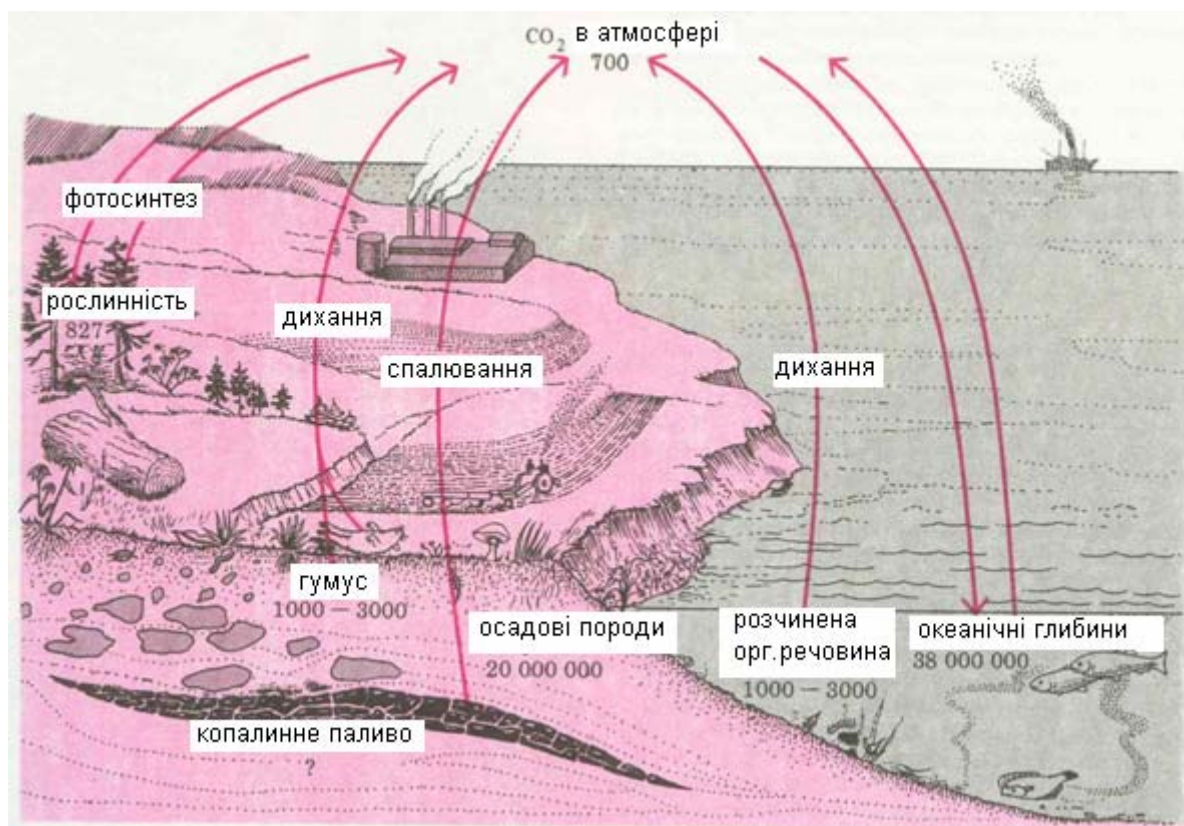


Рис. 9.1. Глобальний цикл вуглероду

Стрілками показаний напрям руху атомів вуглецю, цифрами вказані об'єми потоків і запасів вуглецю в мільярдах тонн. Головну роль фотосинтезуючих компонентів виконують рослини, фітопланктон, морські водорості і ціанобактерії. В результаті з вуглекислоти і води синтезуються вуглеводи і виділяється в атмосферу кисень. Протягом року в з'єднання, які містять вуглець, зв'язується близько 75 млрд. т вуглецю.

Частина вуглеводів використовується самими фотосинтезуючими організмами. Рослини виділяють з коріння і листя в ґрунт і атмосферу CO₂, а морські водорості виділяють його у воду. Близько 500 млрд. т вуглецю запасене у вигляді розчиненої вуглекислоти в океанах і 700 млрд. т - в атмосфері. Частина

вуглекислоти виділяється тваринами, які харчуються рослинами, споживаючи вуглеводи.

Величезна кількість вуглецю запасена у відмерлих залишках рослин і інших організмів. Поточні відходи у вигляді падаючого листя, фекалій і інших покидьків, що потрапляють в ґрунт і воду, розкладаються редуцентами. До них відносяться дрібні безхребетні, бактерії і гриби. В результаті розкладання в ґрунт, воду і повітря виділяється вуглекислота.

Запаси вуглецю, що утворилися мільйони років тому, залягають на великій глибині у вигляді кам'яного вугілля і нафти. В результаті природних збалансованих процесів фотосинтезу і дихання вміст вуглекислоти в атмосфері і ґрунті залишається протягом багатьох мільйонів років приблизно постійним. В об'ємі атмосфери вуглекислота займає всього 0,03%. Таким чином навіть незначне відхилення у вмісті вуглекислоти в атмосфері може привести до істотної зміни досягнутої рівноваги в навколишньому середовищі, оскільки вуглекислота сильно поглинає тепло сонячного проміння. В результаті віддзеркалення теплової енергії від земної поверхні зменшується, що може привести до так званого парникового ефекту або перегріву Землі.

9.3. Декомпозиція органічних залишків в ґрунті і утворення гумусу

Більшість ґрунтів утворюється на глинистих, суглинкових і піщаних ґрунтах. Головним органічним компонентом ґрунту, що забезпечує його родючість, є гумус. Він представляє стійку органічну колоїдну речовину, насичену водою і киснем з високим вмістом мікрофлори і рухомих живильних елементів, що знаходяться у вільній формі, і придатних для живлення рослин. У одному грамі гумусу може існувати 10-50 млрд. кліток бактерій, а в 1 грамі ґрунту їх налічуються десятки мільйонів. Розвиток рослин в ґрунті створює умови для його структуризації і збільшення порозності шляхом утворення кореневою системою каналів, по яких пересувається повітря і вода в ґрунтову товщу. Вчення про колоїдну будову гумусу закладене вітчизняним ученим К.К. Гедройцем.

Рослини поставляють енергію і живильні речовини для мікроорганізмів, які в свою чергу розкладають залишки рослин, руйнують мінеральні складові ґрунту і переводять живильні елементи у вільну форму, придатну для подальшого використання рослинами. Таким чином, симбіоз між рослинами і мікроорганізмами збільшує вміст вільного азоту в ґрунті, а також приводить до накопичення рухомого калію, заліза, фосфору, сірки і комплексу мікроелементів. Азот стоїть на особливому місці, оскільки він входить до складу всіх білків. Всі вказані елементи залучаються до біологічного кругообігу, масштаби якого зростають з одночасним зростанням біомаси рослин і тварин, які в свою чергу стимулюють життєдіяльність мікроорганізмів.

Гумус накопичується із залишків відмерлих рослин, які розкладаються в першу чергу грибами і бактеріями. Стійкість ґрунтів і можливість їх тривалого використання в сільському господарстві визначається в основному стійкою колоїдною формою гумусу. В процесі накопичення гумусу формується родючість ґрунту, яка полягає в здатності забезпечувати зростання рослин.

Формування ґрунту проходить декілька стадій. На перших етапах руйнування гірських порід, формування вторинних мінералів і накопичення гумусу біологічні процеси в природних умовах взаємодіють за принципом позитивного зворотного зв'язку. Чим більше накопичується гумусу, тим більше маса рослин, тим більше живильних речовин вони забезпечують для мікроорганізмів, які розкладають рослинні залишки і формують з них гумус. Відомо, що позитивний зворотний зв'язок веде до розвитку всіх основних чинників процесу. Проте з часом можливості накопичення гумусу починають обмежуватися зовнішніми умовами (кліматом, рельєфом і ін.). В результаті настає динамічна рівновага між складовими процесу ґрунтоутворення, і він переходить в так звану клімаксну (кінцеву) стадію. У цій стадії ґрунт може знаходитися невизначено довгий час, представляючи для людини особливо здорове в екологічному відношенні середовище для вирощування здорової їжі,

очищення ґрунтових вод, повітря і створюючи таким чином чудові рекреаційні можливості.

Обробляючи ґрунт, вносячи в нього добрива, людина виводить його з досягнутої термодинамічної рівноваги, внаслідок чого спочатку ґрунт збільшує біопродуктивність і родючість. Потрібні дуже великі знання і уміння, щоб порушення термодинамічної рівноваги не погіршувало якість ґрунту і не приводило до його забруднення або виснаження. На жаль, в переважній більшості випадків поки реєструються саме такі негативні наслідки обробки і експлуатації ґрунтів миру і України зокрема. За останні 50 років вміст гумусу в ґрунтах миру в середньому зменшився у декілька разів, а кількість оброблюваного ґрунту на душу населення планети зменшилася удвічі. Ясно, що така ситуація вже сьогодні ставить вельми жорсткі вимоги до технологій обробки землі. Затягування вирішення проблем, що пов'язані з цією ситуацією, приведе тільки до вибухонебезпечного стану і підвищення вірогідності екологічної катастрофи. Таку ситуацію все одно доведеться вирішувати, але вже набагато дорожчими засобами.

Слід підкреслити, що головний ґрунтоутворюючий чинник пов'язаний з активністю мікроорганізмів. Саме активність життєдіяльності мікроорганізмів визначає біологічну цінність ґрунту. Абсолютний вміст мікроорганізмів не є показником біологічної активності ґрунту, оскільки для її реалізації потрібен цілий ряд умов. У практиці біологічну активність ґрунту визначають по швидкості збільшення біомаси мікроорганізмів, швидкості розкладання целюлози, накопиченню визначених метаболітів (амінокислот, аміаку). Проте головним показником біологічної активності ґрунту є швидкість виробництва вуглекислого газу, який виділяється при диханні рослин і ґрунту в цілому.

Цілинні землі накопичують щорічно 50-120 ц на гектар сухої речовини органічних залишків. На агроценозах, тобто на оброблюваних землях такий приріст набагато нижчий і складає всього 11-50 ц/га в рік. Треба підкреслити, що для виробництва урожаїв, маса яких складає 20-40 ц/га вноситься 4-8 ц/га різних

хімічних елементів у вигляді мінеральних добрив, пестицидів і т.д. Це свідчить про невисоку ефективність використання ґрунту, досягнуту на сьогодні.

Зі всієї маси органічних залишків в ґрунті 5-15% складають свіжі останки рослин, що не розклалися. Вони представлені в основному клітковиною, целюлозою, лігніном. Рослинні залишки, що не розклалися, і залишки організмів, включаючи мезо- і макрофауну, містять білки, амінокислоти, жири.

Залишки рослин, що напіврозклались та втратили анатомічну будову, називаються детритом. Детрит залишається після розкладання легко досяжних для рослин залишків у вигляді протеїнів і вуглеводів. Детрит містить лігнін, віск-смоли, дубильні речовини - все, що залишається після розкладання легко досяжних речовин. Детрит уявляє собою ворсинки розтертого бурого матеріалу, зберігається в ґрунті декілька років і навіть десятиліть. Маса детриту перевищує масу свіжих рослинних залишків і складає на цілинних землях 35-40% від загальної частини органічних залишків ґрунту.

Гумус складає решту частини органічної речовини ґрунту. Саме гумус - найцінніша і найстійкіша частина ґрунту, яка створює основи його родючості. Гумус утворюється у вигляді колоїдної речовини, що згущується унаслідок тривалого розкладання органічних залишків і їх фізико-хімічного синтезу. Під синтезом розуміють полімеризацію органічних молекул, конденсацію і згущування. У родючих цінних ґрунтах гумус складає 70-80% всіх органічних залишків.

На практиці часто зараховують нерозкладені органічні залишки і залишки організмів, що напіврозклалися, і детрит до гумусу, хоча це невірно і завищує істинний вміст гумусу в ґрунті.

Слід підкреслити, що при розкладанні органічних залишків в ґрунті відбувається два паралельні процеси: мінералізація і гуміфікація. При мінералізації живильні елементи вивільнюються з нерозчинних органічних сполук і пускаються в обіг у вигляді живлення рослин. Гуміфікація протікає поволі, але

закладає потенційну родючість ґрунту. Обидва процеси взаємно доповнюють друга.

Слід зазначити, що джерелом гумусу на оброблюваних ґрунтах є в основному солома зернових, тоді як цінні мінеральні компоненти забезпечують повністю заорювані боби або їх залишки.

9.4. Гумус і поглинальна здатність ґрунтів

Гумус є полідисперсним колоїдом і має високу поверхневу активність. Колоїдна речовина гумусу складається з міцелл або згустків молекул. Величина міцелли не перевищує десятої частини мікрона. Міцеллі притаманні властивості адсорбції і обміну катіонів, велика місткість поглинання катіонів, що важливе для протікання фізико-хімічних реакцій в ґрунті. Міцелла на своїй поверхні містить кислотні радикали (COOH), а також певну кількість аміногруп.

Характерний розмір колоїдних частинок знаходиться в межах 1-100 нм. Молекули в розчині мають розміри менше 1 нм. Таким чином, колоїди є молекулярними комплексами, які утворилися в результаті дії фізико-хімічних сил. У ґрунті є колоїди з мінеральних частинок (найчастіше це глинисті мінерали), органічних (продуктів розкладання рослинних залишків) і органо-мінеральних. У колоїдні частинки вбудовані клітки бактерій, спори грибів і інші дрібні організми або їх залишки.

Найціннішими є органо-мінеральні колоїдні системи, які формуються в міцні конденсаційно-кристалічні структури в процесі затвердіння глинистих кристалів в розчинах високополімерних органічних речовин, що утворились в результаті розкладання рослинних залишків і продуктів життєдіяльності біоти. Найстійкіший гумус утворюється на основі органо-мінеральних з'єднань у вигляді гетерополярних солей гумінових кислот, коли ці кислоти з'єднуються з іонами кальцію і магнію. Такі комплекси погано розчиняються у воді, що забезпечує їх тривалу стійкість і високі якості гумусу.

Одного разу утворившись, колоїди здібні до подальшого поглинання речовин з розчинів у вигляді молекул або іонів. За певних умов поглинені речовини обмінюються на інші речовини, які мають велику спорідненість з міцеллою за нерівноважних термодинамічних умов. Отже, колоїди виконують найважливіші функції поглинання і обміну речовин в ґрунті. Така активна роль колоїдних частинок можлива завдяки їх величезній питомій поверхні. Із зменшенням розміру частинок питома поверхня їх різко зростає. Так, питома поверхня колоїдних частинок в типовому ґрунті складає 200-300 м² в грамі речовини. При цьому частинки розміром 0,01-0,05 мм мають всього 4 м² поверхні або не більш 2% від всієї активної поверхні речовини. В той же час колоїдні частинки розміром 0,0001 мм мають поверхню близько 200 м² або 80% від всієї загальної питомої поверхні речовини. Саме ці частинки є тими активними центрами, на яких протікають процеси розкладання рослинних залишків, вивільнення мінеральних компонентів в результаті діяльності гетеротрофів (бактерій, грибів і т.д.).

Близько 70-90% колоїдних частинок в типових ґрунтах представлені глинистими мінералами. Так нежива природа надає матрицю, в якій розвивається біомаса за рахунок протікання ефективних фізико-хімічних реакцій. Питома поверхня, а також питома поверхнева енергія максимальні в речовині гумусу і, відповідно, в чорноземних ґрунтах, зменшуються в суглинних ґрунтах і мінімальні в піщаних. Мимовільне утворення колоїдних частинок в ґрунті протікає під дією термодинамічних законів, які направляють процеси так, щоб мінімізувати вільну поверхневу енергію шляхом фізичної седиментації і адсорбції молекул в окремих міцеллах.

У колоїдних системах звичайно є тверда диспергована фаза, розподілена у воді - дисперсійному середовищі. Взаємодія твердої фази з водою приводить до утворення розчинів-електролітів, оскільки молекули води взаємодіють з іонами твердої фази з утворенням нових з'єднань. Взаємодія частинок і молекул розчину

в міцеллі управляється слабкими електричними силами. Саме тому колоїди, а відповідно і гумус, накопичуються тривалі періоди часу.

Будова колоїдної міцелли вельми складна (рис.9.2, а).

Внутрішня частина 1 міцелли складається з агрегатів аморфної або кристалічної речовини (частіше - твердої фази) і називається ядром. На поверхні ядра знаходяться міцно пов'язані з ним іони 2, створюючи разом з ядром гранулу (частини 1+2). Іони шару 2 називаються визначаючими потенціал, вони міцно пов'язані з ядром і визначають заряд його поверхні.

До гранули примикають іони протилежного заряду - адсорбційний шар іонів 3, що знаходяться на відстані L_0 від центру ядра. Цей шар щільно примикає до шару потенціал-визначаючих іонів завдяки силам адсорбції і електростатичним; число іонів тут може бути більше або менше, ніж в шарі 2. У міру віддалення від центру ядра міцність зв'язку молекул і іонів зменшується, тому зовнішня оболонка іонів і молекул має дифузну природу і відносно легко відділяється (шар 4). Шари 2+3 утворюють внутрішню частину подвійного електричного шару, що виникає навколо ядра міцелли. Внутрішня частина подвійного електричного шару густа і малорухлива, не є електронейтральною, знаходиться на відстані L_1 від центру ядра. Дифузна частина міцелли (шар 4) є рухомою і називається зовнішньою частиною подвійного електричного шару.

В цілому міцелла електронейтральна, але залежно від рН середовища, в якому знаходиться міцелла, може придбавати позитивний або негативний заряд. Заряд міцелли міняється також в результаті зміни її термодинамічного стану під впливом зовнішніх чинників (температури, тиску, вогкості і т.д.). У лужних середовищах міцелли поведуться як кислоти, посилаючи в ґрунтовий розчин іони водню H^+ , внаслідок чого придбавають негативний заряд. У кислому середовищі міцелли віддають іони OH^- , придбаваючи позитивний заряд.

При переміщенні міцелли іони шару 2 переміщуються разом з ядром, оскільки вони міцно з ним пов'язані. Дифузна частина подвійного електричного шару, яка менш міцно пов'язана з ядром, може відставати від ядра. Тому загальна

електронейтральність системи порушуватиметься, і між ядром і частиною решти міцели виникатиме різниця потенціалів. Ця різниця з'являється і виявляється тільки при відносному переміщенні ядра. Тому її називають електрокінетичним або дзета-потенціалом - різниця потенціалів між нерухомою і рухомою частиною подвійного електричного шару (рис. 9.2, б). Величина ζ -потенціалу змінюється в межах від 0 до -60 мілівольт.

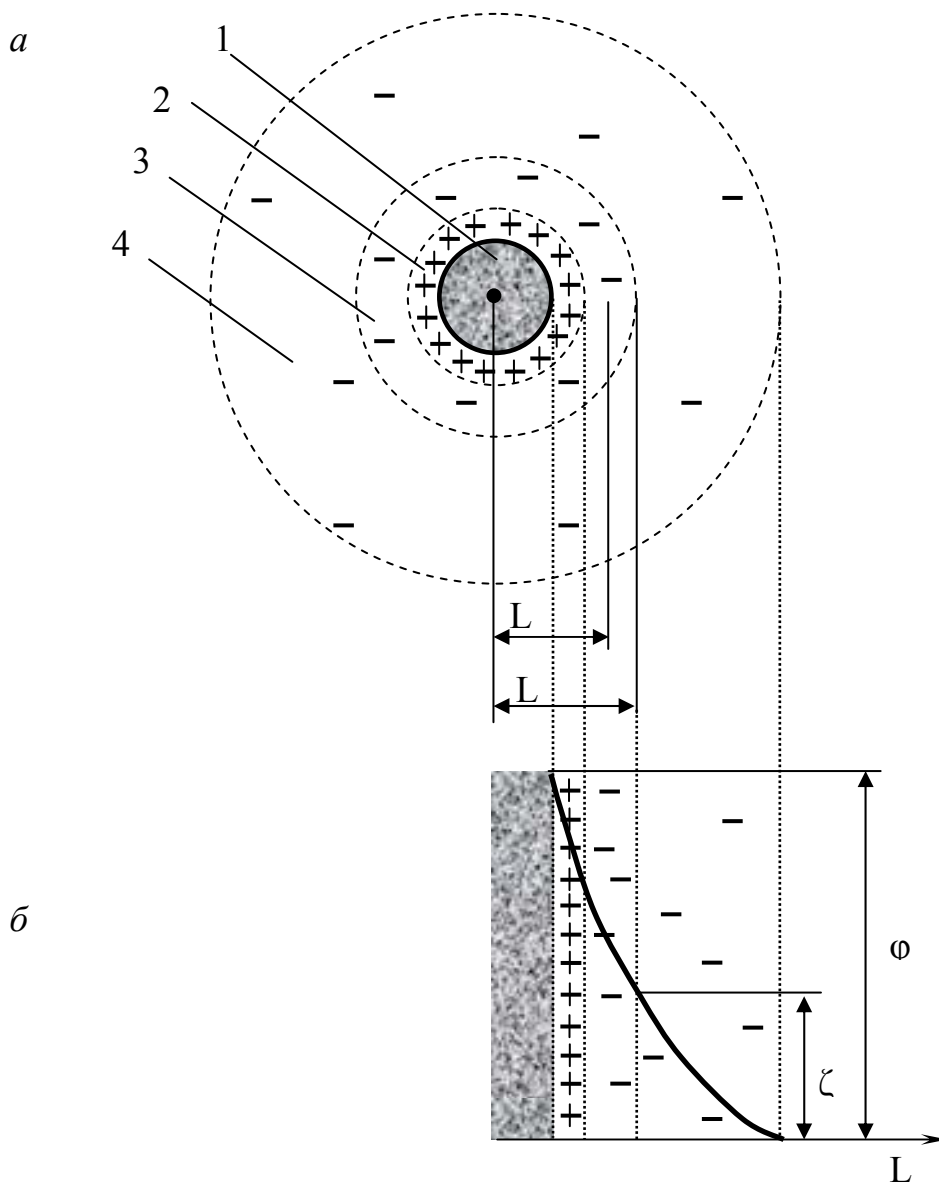


Рис. 9.2. Схема колоїдної міцели (а) та виникнення дзета-потенціалу (б)

1 - поверхня твердої фази, 2 - потенціал-визначаючі іони, 3 – адсорбційний слой; 4 – дифузійна частина подвійного електричного шару

Окрім дзета-потенціалу існує ще уявлення про повний або термодинамічний потенціал ϕ , який визначається як різниця потенціалів між іонами зовнішньої і внутрішньої обкладинки подвійного електричного шару. Тобто дзета-потенціал складає тільки частину повного потенціалу. Ці потенціали виникають в різних місцях системи: повний - на межі «поверхня ядра (диспергована фаза) - вода (дисперсійне середовище)», дзета-потенціал - на поверхні ковзання на відстані L_1 від центру ядра (рис. 9.2, б).

Таким чином колоїди гумусу виконують роль стабілізатора або буфера, який дозволяє зберігати нормальне для рослин середовище життєдіяльності, компенсуючи зовнішні негативні дії. Саме цією властивістю колоїдів і гумусу пояснюється довговічність ґрунту (особливо чорнозему).

Колоїди можуть знаходитися в ґрунті в стані гелю (колоїдний згущений осад) або золя (колоїдний розчин). Звичайно гель виникає при зменшенні вогкості ґрунту, а золь утворюється після інтенсивних атмосферних опадів. Проте процес коагуляції або розчинення протікає під дією складних фізико-хімічних механізмів, які регулюються хімічним складом середовища і навіть дією мікроорганізмів. Такий певний вид бактерій здатний переводити піски в пливуни в процесі своєї життєдіяльності.

Процес переходу золю в гель називається пептизацією на відміну від коагуляції, коли відбувається згущування міцелл. Як вже вказувалося, гідрофільні колоїди достатньо легко переходять з гелю в золь і навпаки, і тому називаються оборотними колоїдами. Необоротні колоїди є гідрофобними, тобто такими, що погано зв'язуються з молекулами води.

Особливим видом коагуляції є тіксотропія, коли золь знаходиться в мікроосередках, утворених гелем. Іншими словами гель може утворити пористе середовище, усередині якого в рідкому стані знаходяться міцелли у вигляді золю. Така маса, подібна на желе, переходить в зріджений стан під дією механічних зусиль, наприклад при вібрації. Іноді таке явище провокує обвали, що завдають непоправної шкоди ґрунтам.

Від складу і властивостей колоїдів залежить поглинальна здатність ґрунту. Відповідно до К.К. Гедройця ця властивість полягає в здатності ґрунту затримувати з'єднання, мікроорганізми або частини їх, що знаходяться в розчиненому стані. Поглинальна здатність обумовлена наявністю ґрунтового поглинального комплексу (ГПК), основну частину якого складає сукупність мінеральних, органічних і органо-мінеральних колоїдів. Важливо розуміти, що саме завдяки колоїдам запасуються результати діяльності мікроорганізмів по розкладанню рослинних залишків. Якби не було поглинального комплексу, вивільнені живильні речовини в більшій частині просто пропадали б без корисної утилізації. Саме ГПК забезпечує фізичну акумуляцію живильних речовин, а також утворює необхідне середовище для розвитку мікроорганізмів, які виробляють ці живильні речовини. ГПК здатний запасати живильні речовини і видавати їх рослинам в міру необхідності, що є особливо важливим в періоди вегетації (весняно-літні), а також за часів засух і інших негативних кліматичних явищ.

У гумусі знаходиться близько 90% запасів вільного азоту, фосфору, сірки, мікроелементів. У органічній компоненті гумусу накопичуються вітаміни, ауксини, антибіотики. Гумус, додаючи ґрунту темне забарвлення, сприяє накопиченню тепла, що в свою чергу призводить до інтенсивнішого розвитку мікроорганізмів і вироблення живильних речовин. Гумус накопичується у верхніх орних шарах ґрунту, глибина яких змінюється від 18 см на півночі України до 45 см в центральних і південних районах з глибоким чорноземом.

Кількість і якісний склад гумусу визначається кліматом, гранулометричним складом ґрунту, зокрема вмістом глинистої фракції, походженням ґрунту по типу природної рослинності, з якої він утворився (лесова, степова), окислювально-відновних умов і т.д. Піщані ґрунти полісся містять 1% гумусу, в сірих лісових і суглинкових ґрунтах мається 1,5-2,7%, в чорноземах - від 3 до 6% гумусу, червоно-коричневі глинисті ґрунти в посушливих степах містять 2-3% гумусу, супіщані - 0,7-1,5%. Бурі лісові ґрунти Карпат вміщують від 2% в теплом поясі до 4-5% гумусу в прохолодному поясі.

Взагалі найбагатший гумусом ґрунт розповсюджується в межах України з південного заходу на північний схід, а смуга ґрунтів, багата гумусом, проходить через центр Кіровоградської області і південь Харківської. Ця кліматична зона характеризується помірним зволоженням. Північніше і на південь від цієї смуги вміст гумусу зменшується. У північній частині України зменшення гумусу пов'язане з недоліком коагулюючих іонів і в першу чергу кальцію. Південні області збіднені гумусом через посушливість клімату, яка зменшує активність мікроорганізмів і біологічну активність в цілому.

К.К. Гедройцем виділені наступні види поглинальної здатності ґрунту: механічна, фізична, хімічна, фізико-хімічна або колоїдно-хімічна, біологічна.

Механічна обумовлена в основному утримуючою дією капілярів і пор, в яких затримуються тверді частинки (наприклад, добрива, дрібні рослинні залишки, мул).

Фізична поглинальна здатність пов'язана з можливістю ґрунтових колоїдів поглинати цілі молекули розчинених мінеральних і органічних речовин і води. Фізичною поглинальною здатністю ґрунту пояснюється наявність фізично зв'язаної води в ґрунті. При фізичному поглинанні води відбувається процес адсорбції і виділяється енергія, еквівалентна теплоті змочування, величина якої визначається в калориметрах. Максимальна фізична теплота змочування досягається в гумусних речовинах. У ґрунтах, забруднених нафтопродуктами, теплота змочування мінімальна, оскільки ґрунт стає гідрофобним, що приводить до її деградації.

Сухий ґрунт адсорбує також гази з атмосфери або такі, що утворилися в результаті виділення в процесі метаболізму рослин і організмів.

Хімічна поглинальна здатність в ґрунтах пов'язана з утворенням нерозчинних або важко розчинних з'єднань, які випадають з розчину в осад. Хімічна поглинальна здатність може виконувати як негативну, так і позитивну роль для ґрунту. Зв'язуючи добрива, хімічна поглинальна здатність зменшує їх ефективність. З другого боку хімічна поглинальна здатність корисна при

скріпленні шкідливих речовин, які забруднюють ґрунт або погіршують його властивості.

Фізико-хімічна або колоїдно-хімічна поглинальна здатність обумовлена наявністю на поверхні колоїду електричного заряду. Власне цей вид поглинальної здатності забезпечує обмін живильними речовинами з рослинами, гарантує їх накопичення і зберігання в доступній для рослин формі, підстраховує ґрунти на періоди, несприятливі для вегетації рослинності.

Біологічна поглинальна здатність ґрунту обумовлена життєдіяльністю кореневої системи рослин і мікроорганізмів. Як тільки живильні речовини поглинені кореневою системою або потрапили всередину мікроорганізмів, ці речовини захищені від вилуговування з ґрунту.

Таким чином, поглинальна здатність ґрунту виконує найважливішу роль в накопиченні, збереженні живильних речовин і забезпеченні рослин цими речовинами в потрібні періоди і в потрібній кількості. Без поглинальної здатності ґрунт не зміг би стійко існувати і протистояти негативним діям навколишнього середовища. Поглинальна здатність ґрунту вироблена як стабілізатор, що забезпечує стійкість ґрунту і тривалість його існування.

Чим більше вміст гумусу в ґрунті, тим вище його поглинальна місткість. Так при збільшенні вмісту гумусу в ґрунті з 2 до 10% його місткість поглинання катіонів на 100 г ґрунту зростає з 15 мекв до 65 мекв.

Поглинальна здатність ґрунту тісно пов'язана з його буферними властивостями, які виявляються в його здатності протистояти зрушенню реакції ґрунтового розчину під впливом різних чинників у бік кислого або лужного складу. Поведінка ґрунту відображається принципом Ле-Шательє, який свідчить про те, що в будь-якій термодинамічній системі розвиваються такі процеси, які протистоять змінам її внутрішнього стану, викликаного дією зовнішніх чинників. Чим вище буферні властивості ґрунту, тим стійкіше ґрунт проти випадкових змін клімату, появи забруднень. Ґрунти з високим ступенем буферної властивості більш стійкі і витримують інтенсивніші стреси. Важливо відзначити, що буферні

властивості ґрунту визначаються перш за все вмістом гумусу. Чим більше гумусу в ґрунті, тим вище його буферні властивості. Мінімальні буферні властивості мають піщані ґрунти, максимальні - чорноземи.

9.5. Органіка ґрунту і ґрунтоутворення

Ґрунтоутворення відбувається перш за все завдяки участі рослинності, яка поставляє органічні залишки в ґрунт, збагативши його детритом і гумусом, а також живильними речовинами, що виділяються з органіки мікроорганізмами. Згідно до В.В. Докучаєва основними чинниками ґрунтоутворення є материнська ґрунтоутворююча порода, клімат, рельєф, вік, сільськогосподарська діяльність людини, а також ґрунтові води.

Найважливішу роль в ґрунтоутворенні виконують глинисті мінерали, які створюють сприятливий гранулометричний склад ґрунту і є фізичною основою для гумусоутворення у вигляді колоїдних частинок.

На думку деяких фахівців клімат є вирішальним чинником ґрунтоутворення. Так, у вологому теплому тропічному кліматі наростання біомаси а, отже, і гумусу відбувається у декілька разів швидше і інтенсивніше, ніж в умовах аридних (пустинних) земель, що сформувалися в посушливому кліматі або в холодному кліматі тундри. Дійсно, волога і тепло є основним середовищем для розвитку рослинності і мікроорганізмів, які і створюють в симбіозі гумус, а також розкладають тверді мінерали материнської породи.

Сприятливий рельєф сприяє накопиченню мулистих частинок і гумусу. У заплавах річок, на схилі гір і в стародавніх руслах частіше за все знаходять родючий ґрунт, який обробляли із стародавніх часів. Південні схили приймають залежно від кута нахилу в 1,2-3 рази більше теплового потоку, що стимулює біологічні процеси і сприяє накопиченню гумусу. З другого боку нахили земної поверхні критичної величини сприяють розвитку ерозійних процесів, які руйнують ґрунт і відносять гумус.

Як вже вказувалося, розвиток ґрунту проходить декілька періодів, початкова стадія якого підкоряється позитивному зворотному зв'язку, що управляє процесом накопичення гумусу. Через певний період часу настає динамічна рівновага між рослинними залишками, що накопичуються, і кількістю мікроорганізмів, розкладаючих ці залишки, і розвиток ґрунту переходить в клімаксний період, коли його об'єм не збільшується, а стабілізується на певному рівні, залежному від вказаних раніше чинників.

Ґрунтові води також мають сильну дію на ґрунтоутворюючий процес. При близькому розташуванні до земної поверхні ґрунтових вод відбувається підживлення ґрунту вологою, що робить ґрунт менш уразливим від коливань клімату і опадів.

Нарешті, господарська діяльність людини може бути продуктивним чинником ґрунтоутворення, хоча, на жаль, в переважному числі випадків ця діяльність продовжує неухильно не зворотно знищувати цінний дар природи, яким є ґрунт і гумус. При розоренні цілинних земель кількість гумусу в перші роки починає збільшуватися, оскільки розпушення землі збільшує її порозність, що підвищує інтенсивність аерації і зволоження ґрунту за сприятливих кліматичних умов. Розпушення ґрунтового шару прискорює таким чином метаболічні процеси мікроорганізмів і рослин, хоча такий ефект короткочасний. Надалі відбувається необоротна втрата гумусу через видалення рослинних залишків у вигляді урожаїв. З урожаями також вилучаються основні живильні елементи з ґрунту (вуглець, азот, сірка, фосфор, мікроелементи). Схоже, що поки людство не знайшло ефективної системи землеробства, яка давала б можливість необмежено одержувати високі урожаї на конкретних земельних ділянках. Рано чи пізно настає виснаження ґрунту. Ясно, що чим більше запаси гумусу в ґрунті, тим вище його буферна і поглинальна здатність і тим повільніше деградує ґрунт. Проте, при постійному порушенні балансу речовини і енергії рано чи пізно деградація настає в будь-якому навіть найродючішому ґрунті, яким є чорнозем.

Мабуть, можливості родючості ґрунту обмежені принципово, що витікає із загальних законів термодинаміки.

У зв'язку з цим одним з безболісних способів відновлення родючості ґрунту на сьогодні є переривчастий режим експлуатації ґрунту, коли через 2-3 роки ґрунту дають відпочинок для відновлення гумусу природним чином. У зв'язку з цим необхідно підкреслити, що ґрунти в Україні експлуатуються неприпустимо інтенсивно, оскільки розораність досягає 75%, тоді як в розвинених країнах частка розораної родючої землі не перевищує 30-40%. Таке рішення ухвалене на законодавчому рівні на підставі результатів наукових досліджень, що належить ще зробити парламенту України.

9.6. Підсумки розділу

1. Органічна речовина ґрунту складається з рослинних залишків, живих організмів, починаючи від бактерій і вірусів і закінчуючи макрофауною, продуктів їх життєдіяльності і стабілізованого комплексу органічного матеріалу у вигляді гумусу.

2. В процесі життєдіяльності живі системи поглинають вуглекислоту з атмосфери і переводять вуглець з газоподібного в твердий стан у вигляді органічних сполук, які містять вуглець. В процесі метаболізму або дихання рослин ці з'єднання знов розпадаються на вуглекислоту і воду. У глобальному масштабі вказані процеси утворюють так званий цикл вуглецю.

3. Головним органічним компонентом ґрунту, що забезпечує його родючість, є гумус - стійка органічна колоїдна речовина, насичена водою і киснем з високим вмістом мікрофлори і рухомих живильних елементів, що знаходяться у вільній формі і придатні для живлення рослин. Гумус утворюється у вигляді колоїдної речовини, що згущується унаслідок тривалого розкладання органічних залишків і їх фізико-хімічного синтезу, під яким розуміють полімеризацію органічних молекул, конденсацію і згущування.

4. Стійкість ґрунтів і можливість їх тривалого використання в сільському господарстві визначається в першу чергу стійкою колоїдною формою

гумусу. В процесі накопичення гумусу формується родючість ґрунту, що полягає в здатності забезпечувати зростання рослин.

5. Головний чинник ґрунтоутворення пов'язаний з активністю мікроорганізмів, яку визначають по швидкості виробництва вуглекислого газу, що виділяється при диханні рослин і ґрунту в цілому, і швидкості збільшення біомаси мікроорганізмів, розкладання целюлози, накопичення визначених метаболітів (амінокислот, аміаку).

6. Найстійкіший гумус утворюється на основі органо-мінеральних з'єднань у вигляді гетерополярних солей гумінових кислот, коли ці кислоти з'єднуються з іонами кальцію і магнію.

7. Колоїди гумусу виконують найважливіші функції поглинання і обміну речовин в ґрунті. Колоїдна міцелла таким чином має дві фази: дисперсійне середовище, в ролі якого найчастіше виступає вода, і дисперсну фазу (молекули і іони, які накопичуються в міцеллі). Взаємодія частинок і молекул розчину в міцеллі управляється слабкими електричними силами.

8. Колоїди гумусу виконують роль стабілізатора або буфера, який дозволяє зберігати нормальне для рослин середовище, компенсуючи зовнішні негативні дії. Саме цією властивістю колоїдів і гумусу пояснюється довговічність ґрунту і особливо чорнозему.

9. Поглинальна здатність ґрунту обумовлена наявністю ґрунтового поглинального комплексу (ГПК), основну частину якого складає сукупність мінеральних, органічних і органо-мінеральних колоїдів. Завдяки колоїдам запасуються результати діяльності мікроорганізмів по розкладанню рослинних залишків. Гумус, додаючи ґрунту темне забарвлення, сприяє накопиченню тепла, що в свою чергу спричиняє інтенсивніший розвиток мікроорганізмів і вироблення живильних речовин.

10. Основними чинниками ґрунтоутворення є материнська ґрунтоутворююча порода, клімат, рельєф, вік, сільськогосподарська діяльність людини, а також ґрунтові води.

Питання для самоперевірки

1. Опишіть основні компоненти органічної речовини в ґрунті.
2. Охарактеризуйте цикл вуглецю в ґрунті.
3. Дайте характеристику гумусної речовини.
4. Що таке колоїд і яке відношення він має до ґрунтоутворення?
5. Від чого залежить буферна і поглинальна здатність ґрунтів?
6. Який тип гумусу є найстійкішим?
7. З яких основних фаз складається колоїдна ґрунтова частинка?
8. Чим визначається поглинальна здатність ґрунту?
9. Перерахуйте основні чинники ґрунтоутворення.

10. КРУГОВОРТ ЖИВИЛЬНИХ РЕЧОВИН

10.1. Введення

Органічна речовина ґрунту утворюється головним чином з опалого листя і інших частин рослин, а також з тіл тварин, що розкладаються. Органічні залишки перемішані з неорганічними частинками ґрунту, і ця суміш населена вражаючим числом дрібних організмів, які проводять все життя або частину життя під поверхнею ґрунту. У одній чайній ложці ґрунту може знаходитися близько 5 млрд. бактерій, 20 млн. дрібних нитчастих грибів і 1 млн. протистів. Протистами є прості стародавні організми (наприклад, інфузорії), і водорості, які із стародавніх часів до наших днів практично не змінилися. Важливо, що протисти, також як і гриби, є гетеротрофами і тому виконують роль деструкторів органічних залишків. Ґрунтові тварини і мікроорганізми розкладають органічну речовину, вивільняючи її неорганічні компоненти, які потім знову утилізуються рослинами. Таким чином, не дивлячись на те, що живильні речовини вимиваються з ґрунту, виносяться у водотоки і випадають в осади на дні річок і океанів, вони знову потрапляють в ґрунт. Макро- і мікроелементи виконують постійний круговорот через рослинні і тваринні організми, повертаються в ґрунт і знову поглинаються рослинами. Кожен елемент має свій особливий цикл, що включає різні організми і різні ферментні системи. Кінцевий результат, проте, один і той же - значна кількість елемента постійно повертається в ґрунт і стає доступним для рослин.

10.2. Азот і круговорот азоту

Азот ґрунту походить з атмосфери. Хоча атмосфера на 78% складається з азоту, більшість організмів не може використовувати його для побудови білків і інших органічних речовин. На відміну від вуглецю і кисню азот хімічно інертний. Високоспеціалізовану здатність перетворювати азот атмосфери у форму, яку можуть засвоювати живі клітини, мають лише деякі бактерії. Цей унікальний процес, званий азотфіксацією, буде розглянутий лише в основних рисах.

Азот в доступній формі повсюдно є основним лімітуючим живильним елементом для зростання сільськогосподарських рослин. Процеси, завдяки яким азот циркулює з атмосфери через рослини і ґрунт за участю живих організмів, складають круговорот азоту і показані на рис. 10.1.

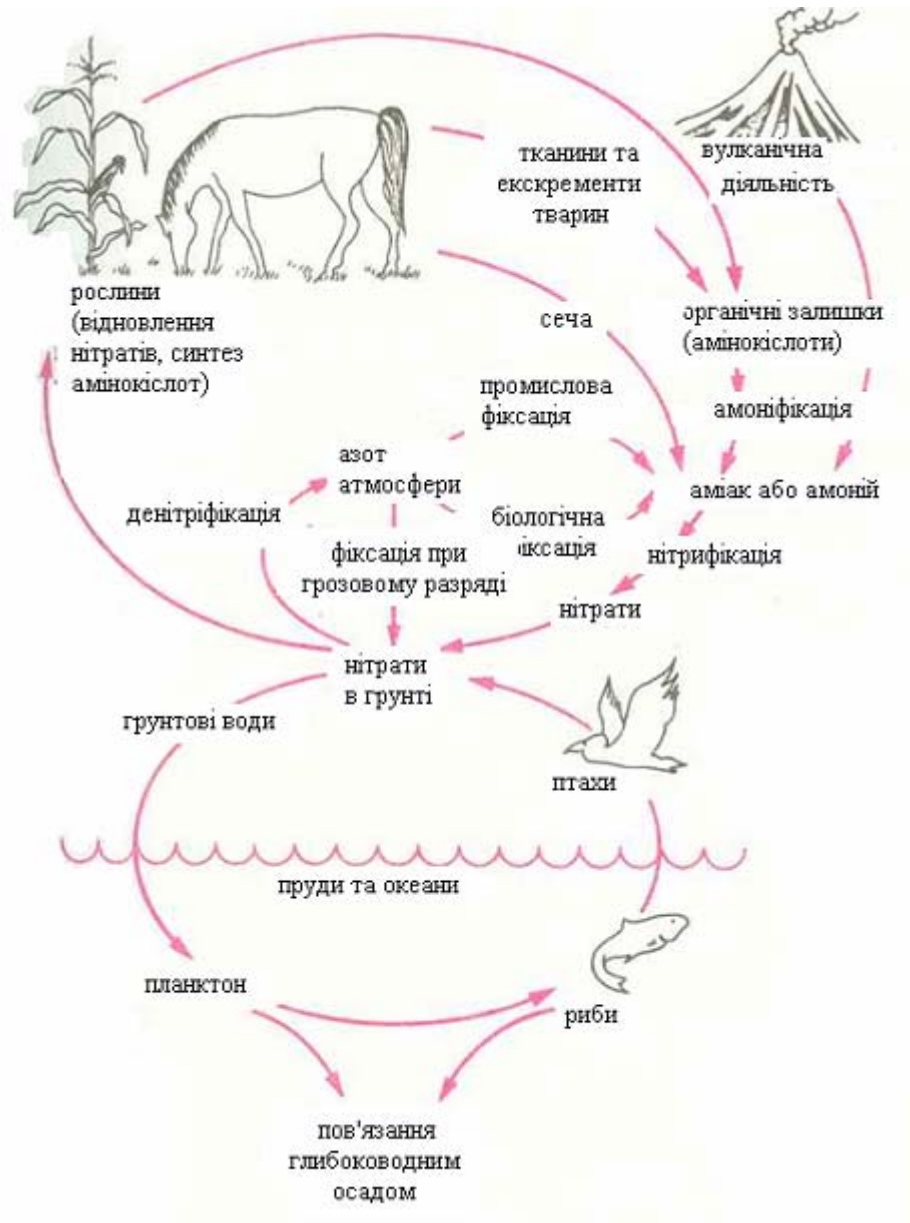


Рис. 10.1. Круговорот азоту

Велика частина азоту поступає в ґрунт з мертвого органічного матеріалу, що уявляє собою складні органічні сполуки, такі, як білки, амінокислоти, нуклеїнові кислоти і нуклеотиди. Ці азотні з'єднання, як правило, швидко

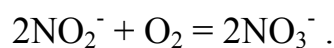
розкладаються на простіші гнильними бактеріями, що живуть в ґрунті, і різними грибами, які включають азот в амінокислоти і білки, а його надлишок виділяють у формі іона амонію (NH_4^+). Цей процес називають аммоніфікацією. Азот може виділятися у вигляді аміаку (NH_3), але звичайно це відбувається тільки при розкладанні великої кількості багатого азотом матеріалу, наприклад в гнойових або компостних купах.

Як правило, аміак, що виходить в процесі амоніфікації, розчиняється в ґрунтовій воді, де з'єднується з протонами і утворює іони амонію.

Деякі види ґрунтових бактерій здатні окисляти аміак або іони амонію. Окислення аміаку або нітрифікація - це процес, що дає енергію. Енергія, яка вивільняється, використовується цими бактеріями для відновлення вуглекислоти приблизно так само, як фотосинтезуючі автотрофи використовують для цієї мети енергію світла. Такі організми називаються хемосинтезуючими автотрофами (на відміну від фотосинтезуючих автотрофів). Наприклад, хемосинтезуюча нітрифікуюча бактерія *Nitrosomonas* окисляє аміак до нітриту (NO_2^-) по реакції:



Нітрити токсичні для вищих рослин, але вони рідко накопичуються в ґрунті. Інший рід бактерій, *Nitrobacter*, окисляє нітрит до нітратів (NO_3^-) знову з вивільненням енергії:



Практично весь азот поглинається рослинами у формі нітратів.

Деякі види рослин можуть використовувати як джерело азоту білки тварин. Ці рослини, що поїдають комах, мають спеціальні пристосування для залучення і лову комах і інших дуже дрібних тварин. Рослини переварюють спіймані організми і всмоктують азотні з'єднання, що містяться в них, і інші органічні і

мінеральні продукти, такі, як калій і фосфати. Більшість таких рослин всього світу живе на болотах, де субстрат дуже кислий і тому не підходить для мешкання нітрифікуючих бактерій.

Коли нітрати потрапляють в рослинну клітку, вони відновлюються до іонів амонію. На відміну від нітрифікації, яка включає окислення NH_4^+ і виділення енергії, процес відновлення вимагає енергетичних витрат. Іони амонію, що утворюються в результаті відновлення, переносяться на з'єднання, які містять вуглець, з утворенням амінокислот і інших органічних речовин, що містять азот. Цей процес називається амініруванням. Включення азоту в органічні сполуки відбувається головним чином в молодих клітках коріння, що ростуть. Таким чином, початкові етапи метаболізму азоту протікають в корінні - майже весь азот, що підіймається по стеблу по ксилемі, вже входить до складу органічних речовин, головним чином молекул амінокислот.

Амінокислоти синтезуються з іонів амонію і кетокислот, які звичайно є продуктами метаболічного розщеплювання цукрів. Основна амінокислота, що утворюється так само - глютамінова - головний переносник азоту в рослині. З амінокислоти, що виникла шляхом амінірування кетокислоти, синтезуються інші амінокислоти в ході процесу переамінірування - перенесення аміногрупи ($-\text{NH}_2$) однієї амінокислоти на кетокислоту з утворенням іншої амінокислоти.

Рослини шляхом амінірування або переамінірування можуть синтезувати всі необхідні їм амінокислоти, використовуючи неорганічний азот. Тварини синтезують тільки деякі з необхідних амінокислот, а інші повинні одержуватися з їжею. Таким чином, тварини повністю залежать від рослин, які забезпечують їх не тільки вуглеводами, але і білками.

До важливих органічних сполук, що містять азот, відносяться нуклеотіди (такі, як АТФ), хлорофіл і інші органічні молекули з порфіріновими кільцевими структурами, а також нуклеїнові кислоти ДНК і РНК. Азот містять багато вітамінів, наприклад вітаміни групи В. Всі вони, як і амінокислоти, можуть синтезуватися рослинами, а тварини повинні одержувати їх з рослинною їжею.

Як вже указувалося, з'єднання, що містять азот і входять до складу рослин, повертаються в ґрунт після загибелі рослин (або тварин, які харчувалися рослинами) і переробляються ґрунтовими організмами. Потім нітрати, розчинені в ґрунтовій воді, поглинаються рослинами і знов перетворюються на органічні сполуки. У цьому циклі завжди є втрати деякої кількості азоту, тобто він стає недоступним для рослин певних екосистем.

Основне джерело втрат азоту в певних екосистемах - видалення рослин з ґрунту. В оброблюваних ґрунтах часто спостерігається постійне зменшення вмісту азоту. Азот втрачається і в тих випадках, коли верхній шар ґрунту ушкоджується в результаті ерозії або пожежі. Азот втрачається і внаслідок вилуговування. Нітрати і нітрит, будучи аніонами, легко вимиваються з зони, де знаходиться коренева система рослин, водою, яка просочується крізь ґрунт.

У анаеробних умовах нітрати часто відновлюються до газоподібних форм - молекулярних азоту (N_2) і закису азоту (N_2O), які повертаються в атмосферу. Цей процес відновлення, названий денітрифікацією, здійснюється численними мікроорганізмами. Низький вміст кисню, який є необхідною умовою денітрифікації, характерний для перезволожених ґрунтів і таких біотопів, як болота. Надходження органічного матеріалу, що легко розкладається, забезпечує денітрифікуючі бактерії джерелом енергії і за інших відповідних умов сприяє денітрифікації.

Якби азот, який виноситься з ґрунту, постійно в нього не повертався, життя на Землі поступово б припинилося. Запас азоту в ґрунті поповнюється за рахунок фіксації азоту.

Фіксація азоту - це процес, в якому N_2 відновлюється до NH_4^+ і стає доступним для реакції амінірування. Від фіксації азоту, яку значною мірою можуть здійснювати тільки деякі бактерії, залежить в даний час існування всіх живих організмів (у тому ж ступені, в якій існування більшості з них залежить від фотосинтезу як джерела енергії).

Серед різних класів азотфіксуючих організмів особливе місце по кількості азоту, що фіксується, належить симбіотичним бактеріям. Найпоширенішою азотфіксуючою бактерією є *Rhizobium*, яка поселяється на корінні бобів - люцерни, конюшини, гороху, сої, квасолі і ін. (рис. 10.2).

Благотворний вплив бобів на ґрунт відомий із старовини. Теофраст, що жив в III в. до н. е., писав, що греки вирощували боби для збагачення ґрунту. Там, де ростуть культури бобів, в ґрунт може виділятися деякий надлишок азоту, який стає доступним для інших рослин. У сучасному сільському господарстві звичайно практикується сівозміна із зміною зернових, наприклад кукурудзи, і бобів, наприклад люцерни. При цьому боби скошують, залишаючи в ґрунті їх багате азотом коріння або, ще краще, рослини просто заорюють в землю. Урожай люцерни, що заорений, може додати від 300 до 350 кг азоту на гектар ґрунту. За скромними підрахунками подібні біологічні системи за рік вносять в ґрунт від 150 до 200 млн. т азоту.

Промисловий спосіб хімічної фіксації атмосферного азоту був розроблений в 1914 р. З того часу комерційне виробництво фіксованого азоту постійно зростало аж до сьогоденного рівня - близько 50 млн. т в рік. Велика частина цього азоту використовується як добрива. На жаль, промислова фіксація вимагає великих енергетичних витрат, але засвоєння азоту з мінеральних добрив далеко не повне.

Невелика кількість азоту зв'язується при грозових розрядах і захоплюється опадами на землю. Іноді дощова вода приносить аміак і оксиди азоту, які потрапили в атмосферу. Вимірювання, що проводяться на дослідній станції в Англії більше п'яти років, показали, що з дощовою водою в ґрунт щорічно потрапляє 7,1 кг азоту на гектар.

Крім того, фіксують азот симбіози рослин і бактерій. У симбіотичній асоціації бактерій роду *Rhizobium* і представників сімейства бобів рослини забезпечують бактерії з'єднаннями вуглецю, які є джерелом енергії для фіксації азоту і інших реакцій метаболізму, а також створюють їм захищене середовище

мешкання. У свою чергу рослини одержують азот в тій формі, в якій він використовується для синтезу білка.

Бактерії роду *Rhizobium* (різобії, рис. 10.2 в) проникають в кореневі волоски рослин сімейства бобів на стадії утворення паростків. Симбіотичні відносини між бактерією і соєю починаються з прикріплення різобії до корневих волосків, які ростуть. Багато з цих корневих волосків деформуються і скривлюються. Після прикріплення різобії проникають в клітинні оболонки кореневого волоска. Руїнування клітинної оболонки в місці проникнення відбувається, ймовірно, за допомогою ферментів, що виділяються бактеріями.

У міру проникнення бактерійної клітки в кореневий волосок він припиняє подовжуватися і починає рости в цьому місці, де відкладається додаткова кількість матеріалу клітинної оболонки. В результаті направлено вrostання цього матеріалу углиб кореневого волоска утворюється трубчаста структура, яка називається інфекційною ниткою. У один кореневий волосок можуть проникнути декілька різобій. Потрапивши в кореневий волосок, бактерії просуваються по інфекційних нитках спочатку до його основи, потім через клітинні оболонки в клітки кори коріння. Бактерійний симбіонт викликає ділення клітин в окремих ділянках кори, в яку він потрапляє в результаті зростання і утворення гіллястих інфекційних ниток. Цей процес приводить до утворення пухлиноподібних бульб (див. рис. 10.2).

Симбіоз між видами *Rhizobium* і бобів дивно специфічний; наприклад, бактерії, які викликають утворення бульб на корінні конюшини, не утворюють бульб на корінні квасолі. В даний час на ринок поступають специфічні штами *Rhizobium*, вирощені в лабораторії. Додаючи до насіння під час сівби певні бактерії, фермери можуть забезпечити утворення ефективних асоціацій для фіксації азоту в культурі бобів. Досліджується механізм взаємодії бактерій *Rhizobium* з корінням певного виду бобів. Бактерії і рослина можуть визнавати одне одного за допомогою рослинного білка лектіна, що знаходиться на поверхні

коріння. Лектін зв'язується з полісахаридами на поверхні кліток «свого» виду *Rhizobium* і не взаємодіє з полісахаридами «чужого» виду.

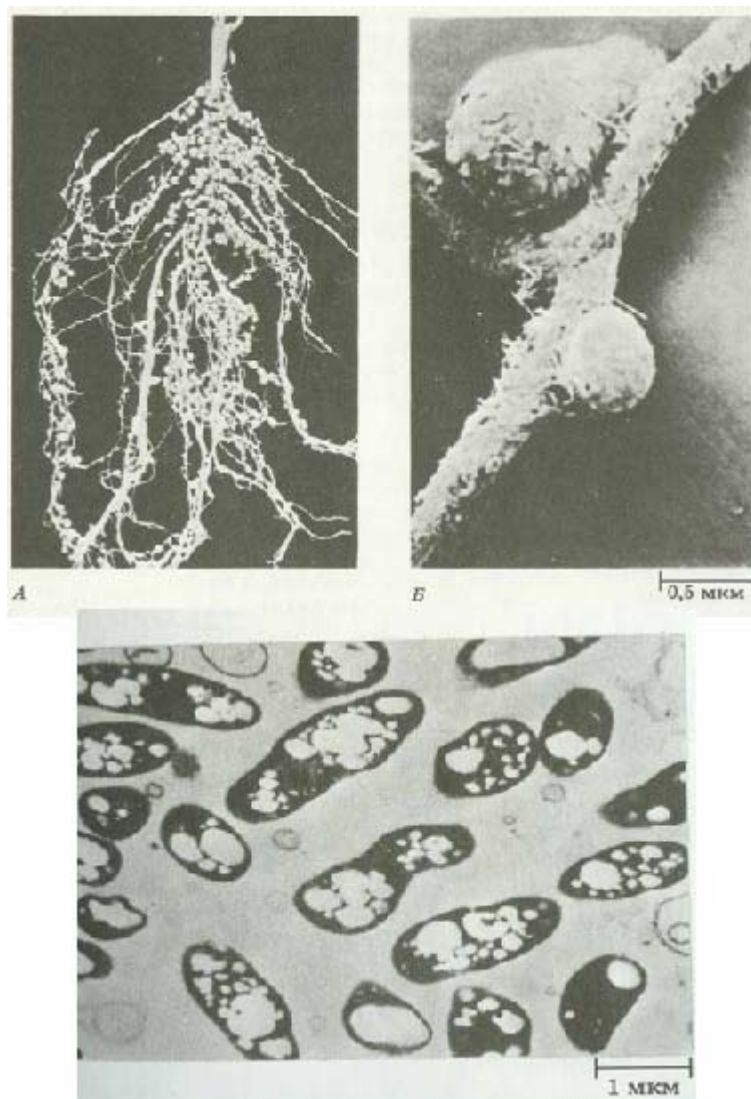


Рис. 10.2. Фіксуючі азот клубеньки на коріннях сої (А, Б), а також азотфіксуючі бактерії (В)

Боби - найбільша група рослин, які створюють «товариство» по фіксації азоту з симбіотичними бактеріями. Проте існує декілька фіксуючих азот симбіозів, в яких беруть участь інші рослини. У деяких частинах світу велике практичне значення має інший симбіотичний союз: *Azolla* - дрібна плаваюча папороть і *Anabaena* - азотфіксиюча ціанобактерія, яка живе в «кишеньках» на його листі. *Azolla*, інфікована ціанобактерією, може давати до 50 кг азоту на

гектар. Наприклад, на Далекому Сході чагарникам *Azolla* - *Anabaena* дозволяють розвиватися на рисових полях. Рослини рису в кінцевому результаті затінують *Azolla*, папороть відмирає, азот вивільняється і використовується рисом.

Існують також вільноживучі фіксуючі азот мікроорганізми. Фіксувати азот можуть несимбіотичні бактерії роду *Azotobacter* і *Clostridium*. *Azotobacter* - аероб, *Clostridium* - анаероб; обидва є ґрунтовими сапробіонтами. Підраховано, що вони додають близько 7 кг азоту на гектар ґрунту в рік. Інша важлива група включає багато фотосинтезуючих мікроорганізмів, такі, як ціанобактерії.

Відмінності між фіксацією азоту вільноживучими і існуючими в симбіотичних асоціаціях бактеріями не завжди виразні. Наприклад, азотфіксиуюча бактерія аероба *Azotobacter*, як правило, концентрується навколо коріння деяких злаків, таких, як цукровий очерет, і виконує істотну роль в постачанні рослин азотом. Злаки і інші рослини, ймовірно, виділяють органічні речовини, які служать джерелами енергії для «вільноживучих» бактерій. Асоціація, таким чином, частково відповідає симбіотичній.

Фермент, який здійснює фіксацію азоту, називається нітрогеназою. Нітрогеназа містить молібден, залізо і сульфідні простетичні групи, тому вказані елементи необхідні біологічним системам для здійснення фіксації азоту. Нітрогеназа використовує і велику кількість АТФ як джерело енергії, що робить метаболічний процес азотфіксації енергетично дорогим.

Хоча рослини, як вказувалося вище, не потребують кобальту як мікроелементу, кобальт потрібен мікроорганізмам, що фіксують азот. Тому кобальт, не будучи складовою частиною нітрогенази, необхідний для здійснення симбіотичної фіксації азоту.

10.3. Круговорот фосфору

Круговорот фосфору (рис. 10.3) простіший, ніж круговорот азоту, оскільки включає менше стадій, серед яких до того ж немає залежних від специфічних груп мікроорганізмів. У круговороті фосфору на відміну від круговороту азоту

первинним резервуаром служить не атмосфера, а земна кора. Як указувалося раніше, основна маса фосфору потрапляє в ґрунтовий розчин в результаті тривалого процесу вивітрювання порід і мінералів.

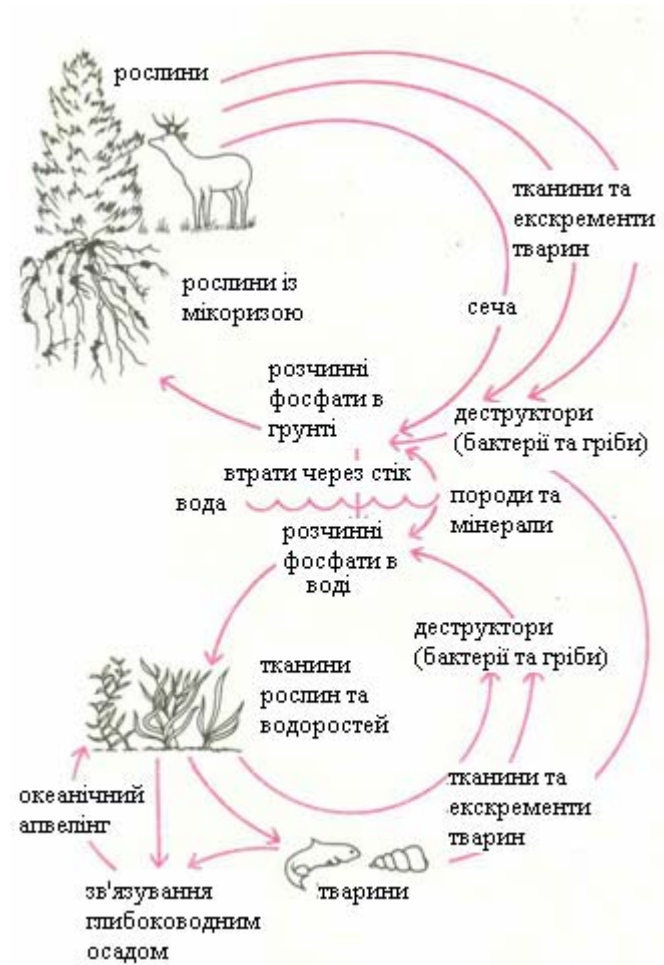


Рис. 10.3. Круговорот фосфору

В порівнянні з азотом кількість фосфору, яка потрібна рослинам, відносно невелика. Проте серед елементів, для котрих земна кора є первинним резервуаром, саме фосфор звичайно обмежує зростання рослин. У Австралії, наприклад, де ґрунти вкрай вивітрені і бідні фосфором, розповсюдження і межі природних рослинних співтовариств часто визначаються доступністю ґрунтових фосфатів.

Фосфор циркулює від рослин до тварин і повертається в ґрунт у формі органічних залишків і відходів. Органічні сполуки фосфору перетворюються на

неорганічні фосфати і таким чином стають знову доступними рослинам (рис. 10.3).

В результаті ерозії, забруднень, а також із стічними водами велика кількість фосфору потрапляє в річки і струмки. У результаті фосфор опиняється в океані, де відкладається на дні у вигляді осадів. Велика кількість фосфору осідає і при розкладанні загиблих організмів. У минулому використання гуано (відкладення посліду морських птахів) як добрива повертало деяку кількість фосфору з океану в наземні екосистеми. Проте велика частина фосфору з океанічних осадів стає доступною тільки в результаті крупних підйомів морського дна. Щоб відшкодувати ці втрати у великих масштабах розробляються поклади гірських порід, що містять фосфати, для отримання добрив.

10.4. Дія людини на круговорот живильних елементів

Для нормального круговороту фосфору, азоту і інших речовин потрібен постійний транспорт елементів від однієї стадії циклу до іншої для того, щоб ні на одній з них не відбувалося накопичення або втрат. Протягом мільйонів років організми одержували потрібну кількість необхідних неорганічних живильних елементів завдяки їх нормальному круговороту. Проте останнім часом діяльність людини серйозно впливає на круговорот деяких речовин, що іноді приводить до їх надмірного накопичення або втрат на одній із специфічних стадій. Наприклад, ґрунтова ерозія прискорює винесення фосфору з ґрунту. Крім того, стічні води потрапляють у водотоки швидше, ніж фосфор, що міститься в них, може вступити в круговорот. В результаті цього він потрапляє в океан і там втрачається.

Для нормального круговороту азоту необхідна підтримка балансу між процесами фіксації, які витягують азот з атмосферного резервуару, і реакціями денітрифікації, які повертають азот в атмосферу. За останній час в зовнішнє середовище поступила величезна кількість фіксованого азоту (нітратів) завдяки посиленому використанню добрив. Оскільки азот у формі нітратів легко вимивається з ґрунту, зросло забруднення азотними речовинами ґрунтових вод,

озер і водотоків. Проблема ускладнюється тим, що болота і ґрунти, які затопляються, де найактивніше протікає денітрифікація, з небезпечною швидкістю знищуються, перетворюючись на місця забудови, сільськогосподарські угіддя або звалища.

Для зменшення втрат нітратів в ґрунті запропоноване рішення, яке могло б стати поширеним землеробським прийомом. Йдеться про застосування спеціальної органічної сполуки, яка вибірково пригнічує активність нітрифікуючої бактерії *Nitrosomonas* на певний термін, а потім руйнується в ґрунті. Цей прийом допоміг би зберегти велику частину азоту добрив у формі амонію до тих пір, поки його не засвоїли рослини. Проте, як це часто буває при втручанні в природні процеси, і тут можливі небажані наслідки. Наприклад, аміак у високому ступені концентрації вельми токсичний для деяких сільськогосподарських рослин.

10.5. Ґрунт і землеробство

У природних умовах елементи, які є в ґрунті, рециркулюють і знову стають доступними для рослин. Як раніше вказувалося, негативно заряджені глинисті частинки можуть зв'язувати такі позитивно заряджені іони, як Ca^{2+} , Mg^{2+} і K^{+} . Ці іони поглинаються корінням рослин або безпосередньо, або після того, як перейдуть в ґрунтовий розчин. Звично в родючому ґрунті багато потрібних рослинні катіонів, а їх кількість, що виноситься з одним урожаєм, невелика. Проте, коли з поля знімається один урожай за іншим і необхідні елементи постійно вилучаються з круговороту, вміст деяких катіонів (частіше за все калію) може настільки зменшитися, що стає необхідним внесення добрив, які містять дефіцитний елемент.

Програми постачання сільськогосподарських і садових рослин додатковими живильними речовинами повинні скрупульозно враховувати кількість речовин, необхідних для формування урожаю певної культури, і кількість цих речовин, доступних рослинні зі всіх джерел. Часто ґрунт і рослинні залишки не можуть

надати необхідні живильні елементи в повному об'ємі, і тоді доводиться забезпечити їх додаткову кількість шляхом внесення мінеральних добрив, органічних залишків (таких, як компост) або їх комбінацій.

Азот, фосфор і калій - три елементи, які звичайно включаються в мінеральні добрива. Добрива, як правило, позначають формулами, що вказують процентний вміст кожного з цих елементів. Наприклад, 10-5-5 означає, що добриво містить 10% азоту, 5% п'ятиокислу фосфору і 5% окислу калію.

Інші необхідні неорганічні живильні елементи, хоча і потрібні в дуже малих кількостях, іноді стають лімітуючими чинниками в ґрунті, на якому ростуть культурні рослини.

10.6. Дослідження живлення рослин

Вивчення мінеральних елементів, необхідних для сільськогосподарських рослин, має величезне практичне значення для рільництва і садівництва. Особливо це торкається вивчення їх кількості, потрібної для високого урожаю, і дослідження здатності різних ґрунтів поставляти ці елементи. Через потреби людства в їжі, що постійно ростуть, дослідження такого роду без сумніву будуть необхідні і в майбутньому.

Збідненість і токсичність ґрунтів вимагають проведення заходів щодо поліпшення ґрунту, до яких відносяться внесення живильних речовин з добривами, збільшення рН вапнуванням або видалення надлишку солей промиванням водою. Ці заходи не вичерпують числа прийомів, що збільшують і забезпечують урожаї на малородючих ґрунтах. Використання теорії і методів рослинництва і фізіології живлення рослин робить можливим виведення сортів сільськогосподарських рослин, які краще за інших пристосовані до зростання в умовах нестачі живильних речовин. Плідність цього напрямку досліджень підтверджується існуванням дикорослих рослин на ґрунтах, вельми відмінних від тих, на яких ростуть звичайно сільськогосподарські рослини. Прикладом можуть служити кислі сфагнові болота з рН менше 4,0 або відвали копалень, де часто

містяться високі концентрації потенційно токсичних металів, таких, як цинк і нікель.

Нещодавно були проведені дослідження по виведенню квасолі, стійкої до дефіциту калію. Зразки квасолі були зібрані по всьому світу і вирощувалися на живильному розчині, в якому калію було менше, ніж потрібно для оптимального зростання. Решта живильних речовин знаходилася в оптимальних концентраціях. Видатного успіху в цій новій області досліджень досягли Е. Епстейн і його співробітники з Каліфорнійського університету в Дейвісі, виділивши лінії ячменю, стійкі до високої концентрації солей. Найстійкіші росли достатньо добре навіть при поливі морською водою. Потрібно обмовитися, що при цьому, скоріше за все, втрачаються смакові і живильні якості нового сорту. В даному випадку виникає суперечність між економікою і здоров'ям населення, яке харчується новими сортами рослин.

Ефективність фіксації азоту також може бути збільшена. Втручання в біологічну фіксацію азоту таїть величезні можливості підвищення ефективності його використання. Один з напрямів цих досліджень торкається поліпшення роботи асоціації *Rhizobium* - боби, наприклад за рахунок генетичного відбору рослин і бактерій для виявлення таких комбінацій, які збільшили б фіксацію в певних умовах середовища. Цього можна було б досягти, збільшивши ефективність фотосинтезу бобів, що привело б до збільшення кількості вуглеводів для бактерійної фіксації азоту і зростання. Необхідно врахувати, проте, що фіксація азоту вимагає багато енергії і що будь-яке збільшення фіксації піде за рахунок продуктивності паростків.

Інший підхід до проблеми полягає в створенні нових і ефективніших асоціацій вільноживучих фіксує азот бактерій з вищими рослинами. У Бразилії на початку 1970-х рр. були знайдені декілька типів азот-фіксує бактерій, що живуть в асоціації з корінням ряду тропічних трав. Подібні асоціації були знайдені у найважливіших сільськогосподарських культур - кукурудзи і цукрового очерету. Не дивлячись на те, що практична вигода могла бути

величезною, ефективність асоціацій азотфіксуючих бактерій з такими злаками, як кукурудза, все ще не з'ясована.

Серед дослідницьких підходів, що використовують найтонші методи молекулярної біології, мабуть, найуспішнішим є метод, пов'язаний з генетичними модифікаціями і перенесенням генів, відповідальних за фіксацію азоту, від одного організму до іншого. Перенесення відповідних генів вже здійснене. Кластер генів, що забезпечують фіксацію азоту, від бактерій *Klebsiella* був перенесений в кишкову паличку. Генетично змінена бактерія фіксувала азот в певних умовах. Теоретично гени фіксації азоту можна було б пересадити на фіксуючим азот видам.

Токсичні ефекти різноманітних неорганічних агентів, що забруднюють середовище, привертають увагу сучасних дослідників. На сільськогосподарські рослини, наприклад, можуть несприятливо діяти важкі метали, такі, як мідь і кадмій. Особливо страждають водні екосистеми, куди скидаються промислові і комунальні відходи. Надходження в прісноводні екосистеми азоту і фосфору - основних елементів евтрофізації - приводить до бурхливого зростання водоростей і водних квіткових рослин, що значно знижує цінність озер і річок як місць відпочинку.

Широко поширені пошкодження як наземних, так і водних екосистем, викликані кислотними дощами. Кислотний дощ є результатом взаємодії двоокису сірки і оксидів азоту - продуктів згорання викопного палива - з атмосферною вологою, що приводить до утворення сірчаної і азотної кислот. Вони і створюють високий ступінь кислотності дощу. У деяких районах Скандинавії, на північному сході і Середньому Заході США, на південному сході Канади дощова вода звичайно має рН від 4,0 до 4,5, а іноді і нижче 4,0. В той же час показник рН дощової води в атмосфері рівний приблизно 5,6. Кислотний дощ несприятливо впливає на рослини, на вивітрювання порід і мінералів, на розчинність потенційно токсичних металів і на здоров'я людей. Від нього страждають сотні озер з м'якою водою в Скандинавії, Канаді і США. У цих озерах немає буферної системи,

створюваної бікарбонатами і карбонатами, які нейтралізують кислоти в озерах з жорсткою водою. М'яка вода характерна для високогірних озер, наприклад гір Адірондак на північному заході США і інших місць, де тонкий шар ґрунту лежить на магматичних породах. Збільшення кислотності води, що відбувається зараз в таких озерах, може згубно позначитися на розмноженні риби.

10.7. Підсумки розділу

1. Всі живильні елементи, за винятком азоту, утворюються в процесі вивітрювання. Крім того, ґрунт містить органічну речовину і пори, заповнені водою і газами в різних співвідношеннях. На оброблюваних землях азот, фосфор і калій найчастіше обмежують зростання рослин і тому вносяться в ґрунт з добривами.

2. Кожен необхідний живильний елемент циркулює в складному круговороті між організмами усередині екосистеми і між цими організмами і природними резервуарами елемента. Циркуляція азоту через ґрунт, рослинні і тваринні організми і знову в ґрунт називається круговоротом азоту. Азот потрапляє в ґрунт у формі органічних речовин рослинного і тваринного походження. Ці з'єднання розкладаються ґрунтовими організмами. Амоніфікація - виділення іонів амонію (NH_4^+) з азотних з'єднань - здійснюється ґрунтовими бактеріями і грибами.

3. Нітрифікація - окислення аміаку або іонів амонію до нітриту і нітратів. Одні бактерії окислюють аміак до нітриту, інші відповідальні за окислення нітриту до нітратів. Азот засвоюється рослинами майже виключно у формі нітратів. Нітрати в рослинах відновлюються до іонів амонію. Амінокислоти синтезуються в результаті амінірування, що приводить до утворення глютамінової кислоти, або в процесі переамінування, в якому аміногрупа переноситься від амінокислоти на кетокислоту, перетворюючи її на іншу амінокислоту. Кінець кінцем ці органічні речовини повертаються в ґрунт, завершуючи цикл азоту.

4. Ґрунт втрачає азот в результаті збирання врожаю, ерозії, пожеж, вимивання і в результаті активності денітрифікуючих бактерій. Його запаси в ґрунті поповнюються за рахунок фіксації азоту, що приводить до включення молекулярного азоту в органічні сполуки. Біологічна фіксація азоту здійснюється тільки бактеріями. До них відносяться бактерії роду *Rhizobium*, що живуть в симбіозі з рослинами сімейства бобів; вільноживучі бактерії і актиноміцети, які вступають в симбіотичні асоціації з рослинами інших сімейств. В результаті сільськогосподарських робіт рослини віддаляються з ґрунту, і внаслідок цього азот і інші елементи вимикаються з природного круговороту і повинні вноситися в ґрунт у формі органічних або мінеральних сполук.

Питання для самоперевірки

1. Які процеси вивільняють живильні елементи в ґрунті?
2. Як азот потрапляє в організм рослин?
3. Перерахуйте шляхи втрати живильних речовин з ґрунту.
4. Приведіть приклади симбіозів, що дозволяють засвоювати азот.
5. Як діяльність людини впливає на втрати і накопичення хімічних елементів в ґрунті?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Навч. посіб. – 2-е вид. стер. – К.: тов. Знання. – КОО. – 2002. – 204 с.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат. – 1986. – 420 с.
3. Богатырев Л.Г. и др. Почвоведение. В 2 частях. Уч. пособие. М.: Высшая школа. – 1987. – 364 с.
4. Noorallah G. Juma. The pedosphere and its Dynamics. A Sistem Approach to Soil Science. Salman Productions, Edmonton, Alberta, Canada. 1999. – pp 360.
5. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. М.: Недра. – 1990. – 328 с.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Выща школа. – 1979. – 272 с.
7. Денисов Н.Я. Инженерная геология. М.: Госстройиздат, 1960. – 404 с.
8. Л.С. Лейбензон Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. Гостехиздат. - 1947. – 210 с.
9. Бирюков Н.С., Казарновский В.Д., Мотылев Ю.Л. Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов. М.: Недра. – 1975. – 178с.
10. Безрук В.М., Кострико М.Т. Геология и грунтоведение. М.: Недра. – 1969. – 264с.
11. Полубаринова-Кочина П.Я. Терия движения грунтовых вод. М.: Недра. - 1972. - 676 с.
12. Чаковский Е.Г. Лабораторне работы по грунтоведению. Изд 4-е. М.: Недра, - 1975. – 304 с.
13. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Норватов Ю.А. Гидрогеология и инженерная геология. М.: Недра. – 1989. – 384 с.
14. Бочков Н.М. Механическая суффозия. Водгео. - ГНТИ. - 1956. – 200 с.
15. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Госгеолиздат. – 1971. – 444 с.
16. Охрана окружающей природной среды в горной промышленности /В.И. Николин, Е.С. Матлак.- К.: Донецк: Вища ШК. Главное изд-во, 1987.-192с.