

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

551.5
М 791

В.К. Моргунов

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по курсу “Метеорология и климатология”

Часть 3

“Метеорологические приборы и методы наблюдений”

/для студентов III курса специальности 3200600

“Комплексное использование и охрана водных ресурсов”/

Новосибирск 2003

УДК 551.508 + 551-501 /07/
М 791

Моргунов В.К. Конспект лекций по курсу “Метеорология и климатология”. Часть.3.”Метеорологические приборы и методы наблюдений”. Новосибирск, Новосибирская государственная академия водного транспорта, 2003.

Конспект лекций в кратком изложении содержит основы физических принципов действия и устройства метеорологических приборов и методов их применения при метеорологических приземных наблюдениях. Приведены также методы дистанционных наблюдений за атмосферными процессами.

Сетевые приборы приведены по состоянию на 2002 г.

- © Моргунов В.К., 2003
- © Новосибирская государственная академия водного транспорта, 2003

1. ЦЕЛЬ, ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

1.1. Цель и организация метеорологических наблюдений

Состояние атмосферы и протекающие в ней процессы оказывают большое влияние на все области хозяйственной деятельности и повседневную жизнь человека. Поэтому, особо важное значение для планирования и осуществления хозяйственных мероприятий приобретает систематическое изучение состояния атмосферы и атмосферных процессов, и на этой основе прогнозирование благо приятных и неблагоприятных условий.

В нашей стране удовлетворять запросам в метеорологической информации многих отраслей народного хозяйства /транспорт, сельское хозяйство, градостроительство, здравоохранение и многие другие/ призвана Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Основным звеном этой службы является Государственная система наблюдений и контроля за состоянием природной среды (ГСКД), задача которой состоит в осуществлении всего комплекса работ по производству наблюдений, обработке информации о текущем состоянии природной среды, составлении всех видов прогнозов и предупреждений, контроле загрязнения природной среды, доведении информации до потребителей - руководителей народнохозяйственных организаций и населения.

Система получения данных (система наблюдений) о состоянии природной среды состоит из двух подсистем: наземной и космической (спутниковой). В наземную подсистему входят: сеть наземных метеорологических станций и постов, аэрологических станций, станций ракетного зондирования, пунктов самолетного зондирования, морских и океанических станций, ионосферных, геомагнитных, гелиофизических станций, пунктов контроля загрязнения окружающей среды и др.

Система наблюдательных пунктов образует Государственную сеть, основную долю которых составляет сеть наземных метеорологических станций и постов I, II, III разрядов, отличающихся составом оборудования и программами наблюдений. В труднодоступных местах для получения метеорологической информации используются автоматические метеорологические станции.

Метеорологические станции и посты подразделяются на основные (опорные) и специальные. Первые служат для систематического получения с необходимой полнотой и точностью информации о состоянии природной среды. Из числа основных станций и постов выделяется особая группа: реперные и вековые станции и посты, предназначенные для изучения вековых изменений климата, и которые должны функционировать неограниченное время в неизменяющихся условиях окружения.

Специальные станции и посты служат для изучения местных особенностей метеорологического режима территории.

Основные станции размещаются на территории так, чтобы обеспечивалась необходимая точность интерполяции значений метеорологических величин любого пункта территории между станциями. Этому условию соответствует для равнинной местности расстояние между станциями 60-70 км. Для необжитых районов допускается расстояния 100-150 км.

Такая густота сети станций позволяет обнаруживать и распознавать синоптические объекты (циклоны, антициклоны, ложбины, гребни, фронты), определять их характерные особенности и скорости перемещения.

В горных районах с большей пространственной изменчивостью метеорологических элементов наблюдательная сеть соответственно должна быть гуще. Учитывая сравнительно небольшие горизонтальные градиенты метеорологических величин в верхней тропосфере и стратосфере расстояния между аэрологическими станциями принимаются 250-300 км.

В соответствии с программой по развитию автоматизированной системы получения данных (АСПД), осуществляемой гидрометеослужбой, в настоящее время проводятся мероприятия по внедрению компьютеров на сети гидрометеорологических станций, что позволяет упростить работу наблюдателей и повысить оперативность доведения информации до потребителей. При этом работа наблюдателя сводится к отсчёту показаний приборов в сроки наблюдений, а первичная обработка результатов измерений (введение поправок, обращение к табличным данным и др.) выполняется компьютером. Полученные таким образом данные со станции по каналам связи передаются в Узел связи Управления ГМС, откуда поступают в различные подразделения Управления для использования в оперативной работе, включая составление прогнозов, а также в гидрометфонд для хранения и накопления гидрометеорологической информации.

1.2. Основные требования к приземным метеорологическим наблюдениям

Одним из важнейших требований, которым должны удовлетворять результаты наблюдений, является репрезентативность. Репрезентативными признаются наблюдения в максимальной степени свободные от местных влияний, характеризующие общее состояние атмосферы в большом районе.

Удовлетворение требованию репрезентативности наблюдений достигается выбором местоположения станции (поста), соответствующее физико-географическим условиям окружающей местности.

Ряд наблюдений должен быть однородным. Однородный ряд - это ряд последовательных значений метеорологического элемента, полученных за достаточно длительное время, выполненных в данном пункте приборами одинаковой конструкции и точности, в одной и той же обстановке, и наблюдателями одинаковой квалификации; при этом обстановка, окружающая станцию, изменялась с течением времени не настолько существенно, чтобы это могло заметно повлиять на результаты наблюдений.

Следующее требование – сравнимость наблюдений. Это такое качество наблюдений, которое дает возможность сопоставлять результаты наблюдений на разных станциях с уверенностью, что обнаруживаемые различия в значениях метеорологических элементов действительно отражают различия в состоянии атмосферы, и происходят не от неточности приборов и случайных влияний. Сравнимость наблюдений обеспечивается репрезентативным положением станции, единством методов и средств наблюдений, которые регламентируются “Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам по производству метеорологических наблюдений и первичной обработки данных”.

1.3. Объем и сроки метеорологических наблюдений

На всех основных станциях приземной сети обязательными являются наблюдения за следующими метеоэлементами: атмосферное давление, скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, температура поверхности почвы, состояние почвы, количество атмосферных осадков, высота снежного покрова, облачность, атмосферные явления, метеорологическая дальность видимости, опасные и особо опасные явления. некоторые станции дополнительно наблюдают за температурой

почвы на различных глубинах, продолжительность солнечного сияния, гололёдно-изморозевые явления на проводах и др.

На всех основных метеорологических станциях стандартные наблюдения производятся в единые синхронные сроки 0,3,6,9,12,15,18,21 ч по среднему гринвичскому времени, которое отличается от московского зимнего на +/- 3/ ч.

Последовательность производства наблюдений регламентируется Наставлением. Так, температура воздуха измеряется за 6-10 мин до срока. Давление по барометру должно отсчитываться как можно ближе к 00 мин срока.

Актинометрические наблюдения проводятся в шесть сроков: 0ч. 30 мин, 6 ч. 30 мин, 9 ч. 30 мин, 12ч. 30 мин, 15 ч. 30 мин, 18 ч. 30 мин.

1.4. Площадка для метеорологических наблюдений

Каждая метеорологическая станция имеет метеорологическую площадку для размещения приборов и служебное помещение, расположенное не далее 300 м от площадки.

Площадка прямоугольная размером 26 х 26 м с ориентацией сторон север-юг, восток-запад.

Площадки, на которых проводятся также и актинометрические наблюдения, имеют размеры 26 х 36 м с ориентацией длиной стороны с севера на юг. Место для площадки по физико-географическим характеристикам должно быть типичным для окружающей местности радиусом 20-30 км с тем, чтобы наблюдения были репрезентативными. Расстояние от площадки до невысоких строений, групп деревьев должно быть не менее 10-и кратной их высоты, а от сплошного леса и сплошной городской застройки не менее 20-и кратной их высоты. Площадка должна находиться от оврагов, обрывов на расстоянии десятков метров, а от уреза воды не менее 100 м. Чтобы не нарушался естественный покров, на метеоплощадке разрешается ходить к приборам только по дорожкам.

Для определения высотного положения приборов, в частности барометра, в районе площадки имеется репер.

Для обеспечения единства измерений приборы на площадке размещаются строго по схеме согласно Наставлению. Приборы устанавливаются в определенном порядке и ориентации по отношению к странам света и на определенной высоте над поверхностью земли. Ограда площадки и все вспомогательное оборудование (подставки, будки, лестницы, столбы, мачты и т.п.) окрашиваются в белый цвет для предотвращения

ния их чрезмерного нагревания солнечными лучами, что может повлиять на точность измерений.

1.5. Средства измерений

Средства измерений, применяемые для определения значений метеорологических величин, называются метеорологическими. Каждый измерительный прибор состоит из нескольких элементов, выполняющих последовательное преобразование измеряемой величины в зрительно воспринимаемый сигнал или сигнал, воспринимаемый регистрирующим устройством. Первичный преобразователь (чувствительный элемент) воспринимает воздействие некоторой, физической величины и преобразует ее в другую величину, воспринимаемую промежуточным преобразователем, который, в свою очередь, преобразует ее в величину, воспринимаемую последующим преобразователем, непосредственно связанным с указывающим или регистрирующим устройством, дающим выходную величину.

Среда, в которой производятся метеорологические измерения, характеризуются многими физическими величинами. Поэтому измерительный прибор находится под воздействием не только измеряемой величины, но и других величин, что может повлиять, на результат измерений. Устранение этих побочных влияний достигается введением дополнительных устройств, нейтрализующих эти влияния, или приведением показаний прибора к нормальным, единым для данного вида измерений, условиям.

Ко всем метеорологическим приборам, предназначенным для работы в естественных условиях (за небольшим исключением), предъявляются требования безотказной работы во всех климатических зонах нашей страны (температура от - 60 до + 50°C, высокая влажность воздуха, выпадение жидких и твердых осадков, наличие тумана, запыленность воздуха, большие ветровые нагрузки).

Метеорологические приборы распространены на всей территории нашей страны, включая удаленные, труднодоступные пункты. Поэтому требуется высокая надежность приборов при длительной эксплуатации, возможность их перевозки всеми видами транспорта. Приборы должны сохранять в течение длительного времени (не менее года) свои характеристики. Они должны потреблять возможно меньше энергии, а в ряде случаев должны иметь автономные источники питания.

Для обеспечения единства и достоверности измерений все метеорологические приборы с определенной периодичностью поверяются.

Проверка состоит в определении поправок к отсчетам по шкале прибора или определении переводного коэффициента прибора путем сравнения его показаний с показаниями образцового измерительного средства. По результатам проверки оформляется поверочное свидетельство, в котором даются заключение о пригодности прибора для использования, поправки и переводные коэффициенты.

Проверка приборов входит в обязанности метрологических подразделений (служба средств измерений – ССИ) Гидрометслужбы.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

2.1. Общие положения

На метеорологических станциях измеряют температуру воздуха, почвы, снега, воды.

Для получения сопоставимых численных значений температуры используются температурные шкалы, построение которых основано на реперных (опорных) точках. В большинстве практических шкал реперными точками являются: точка таяния льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

Первый термометр, изобретение которого приписывается Галилею (1598 г), шкалы не имел.

Впоследствии были предложены различные шкалы, получившие распространение и в метеорологии, которые предложили: Фаренгейт (1715 г), Реомюр (1736 г), Цельсий (1748 г), Кельвин (1848г).

Градус температурной шкалы Фаренгейта (F) составляет 1/180 интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения 32 и 212° соответственно.

Градус температурной шкалы Реомюра (R) составляет 1/80 интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения соответственно 0 и 80°.

Градус температурной шкалы Цельсия (°C) составляет 1/100 интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения соответственно 0° и 100°.

По шкале Кельвина точке плавления льда соответствует температура 273,15 °К. Связь между температурой по шкале Кельвина (Т) и температурой по шкале Цельсия (С) имеет вид $t_C^0 = T - 273,15$.

В практической метеорологии в нашей стране и большинстве стран Европы пользуются шкалой Цельсия, а в США, Англии и ряде других стран - шкалой Фаренгейта.

Переход от одной шкалы к другой делается по формулам:

$$t_C^0 = \frac{5}{9}(t_F^0 - 32);$$

$$t_F^0 = \frac{9}{5}(t_C^0 + 32).$$

Шкала Реомюра к настоящему времени вышла из употребления.

Принцип действия любого термометра основан на закономерной зависимости некоторого выбранного физического свойства чувствительного элемента от температуры.

На метеорологической сети находят применение следующие виды термометров:

1) жидкостные термометры, действие которых основано на изменении объема жидкости при изменении температуры;

2) деформационные термометры, действие которых основано на изменении линейных размеров твердых тел с изменением температуры;

3) электрические термометры:

а) термометры сопротивления, действие которых основано на изменении электропроводности тел с изменением температуры;

б) термоэлектрические термометры, действие которых основано на изменении электродвижущей силы при изменении разности температур спаев;

в) термотранзисторные термометры, действие которых основано на зависимости напряжения эмиттер-база транзистора от температуры.

Важными свойствами термометра являются его термическая инерция и чувствительность.

Любой термометр показывает температуру своего чувствительного элемента. При изменении температуры среды помещенный в нее термометр должен принять температуру этой среды, но на это требуется время, поэтому происходит отставание показаний термометра от температуры среды при её изменении, которое характеризуется коэффициентом инерции термометра. Коэффициент термической инерции термометра – это время, за которое первоначальная разность температур термометра и среды уменьшается в “e” раз (e - основание натурального логарифма).

рифма). Т.е. коэффициент инерции выражает скорость, с которой показания термометра приближаются к температуре среды.

Величина коэффициента инерции прямо пропорциональна массе чувствительного элемента термометра, его удельной теплоемкости и обратно пропорциональна его поверхности и коэффициенту внешнего теплообмена, который зависит от теплоемкости, вязкости окружающей среды, и ее движения относительно термоприемника.

Так, психрометрический термометр, имеющий температуру (-10°C), принесенный в помещение с температурой (+20°C) при скорости вентиляции 1 м/с, будет показывать температуру воздуха с необходимой точностью только через 25 мин.

Чувствительность термометра - это величина одного градуса на шкале термометра в мм. Цена деления - это количество градусов, приходящееся на наименьшее деление шкалы термометра.

Для жидкостных термометров (см. ниже) чувствительность зависит от коэффициента объемного расширения жидкости и термометрического стекла, от объема резервуара и поперечного сечения капилляра термометра.

Длина градусного деления на шкале термометра тем больше, чем больше объем резервуара и чем меньше сечение капилляра. Однако при чрезмерно малом сечении капилляра на перемещение в нем жидкости может сказываться сила трения о стенки капилляра, а резервуар большого объема, ведет к увеличению термической инерции, и сам может оказывать влияние на температуру окружающей его среды. Поэтому при конструировании термометров исходят из компромиссного решения, стремясь получить требуемую чувствительность при допустимой инерции.

2.1.1. Жидкостные термометры

Это наиболее распространенный тип термометров, применяемых в метеорологии.

Термометр состоит из резервуара, соединенного с капилляром, противоположный конец которого запаян. Резервуар с термометрической жидкостью может иметь форму цилиндрическую, шарообразную и др. У большинства термометров шкала нанесена на пластинку из матового стекла, скрепленную с капилляром. Шкала и капилляр заключены в защитную стеклянную оболочку. Так устроен термометр со вставной шкалой. Шкала может быть нанесена и на наружной поверхности толстостенного капилляра (палочный термометр). Объем капилляра над жидкостью может иметь вакуум или заполняться инертным газом.

При изменении температуры изменяется объем жидкости, что сказывается на высоте столбика жидкости в капилляре, это и позволяет по шкале определять температуру.

Основными свойствами термометрической жидкости, определяющими ее пригодность использования в термометрах: коэффициент расширения, удельная теплоемкость, теплопроводность, способность смачивать стекло. Чем больше коэффициент расширения, тем большую чувствительность можно получить. Чем меньше удельная теплоемкость, тем меньше термическая инерция термометра при той же массе жидкости в резервуаре. Снижению инерции способствует также и больший коэффициент теплопроводности.

Способность жидкости смачивать стекло ведет к занижению показаний термометра, так как часть жидкости остается на стенках капилляра.

В метеорологических термометрах в качестве термометрической жидкости применяют ртуть, спирт, толуол.

Ртуть как термометрическая жидкость, имеет ряд достоинств: малая теплоемкость, большая теплопроводность, отсутствие смачивания стекла. Все это позволяет изготавливать термометры высокой точности. Единственным недостатком ртути является сравнительно небольшой коэффициент расширения, у спирта и толуола он значительно больше.

Кроме того, ртуть обладает высокой температурой кипения ($+356,9^{\circ}\text{C}$), благодаря чему в интервале температур у земной поверхности не происходит испарения, как у спирта и толуола.

Но ртуть замерзает при температуре ($-38,9^{\circ}\text{C}$). Поэтому при низких температурах приходится пользоваться спиртовыми и толуоловыми термометрами. Но эти жидкости имея сравнительно низкие точки кипения (спирт $+78,5^{\circ}\text{C}$, толуол $+110,5^{\circ}\text{C}$), являются мало пригодными для измерения высоких положительных температур. Кроме того, спирт и толуол смачивают стекло, что влияет на точность показаний термометра.

В жидкостных термометрах мы наблюдаем не истинное расширение жидкости, а только кажущееся, которое является разностью между расширением жидкости и стекла капилляра резервуара. Поэтому термометры изготавливают из специального термометрического стекла с небольшим и по возможности стабильным коэффициентом расширения.

К метеорологическим термометрам предъявляются высокие требования по точности и сохранности градуировочных характеристик. Однако, с течением времени вследствие деформаций стекла эти характеристики меняются.

Различают медленные и временные изменения. Причиной первых является медленное уменьшение (годами) деформаций термометра, полученных им при высоких температурах в процессе его изготовления. Временные изменения возникают от деформаций при кратковременных нагреваниях в процессе его эксплуатации. Эти деформации затухают до исчезновения в течение 15-20 дней.

Для учета этих изменений по определенному регламенту производится поверка термометров в ССИ (Служба средств измерений). Каждый поверенный термометр снабжается поверочным свидетельством, а на самом термометре наносится клеймо о поверке.

В поверочном свидетельстве поправки к показаниям термометра даются “при” и “от и до”. Поправки “При” даются через каждые 10°C с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$, а поправки “От и до” по отдельным участкам шкалы, для которых ее принимают постоянной с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$.

При измерении температуры метеорологическими термометрами отсчеты производят с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$ независимо от цены деления шкалы. При отсчете глаз должен располагаться так, чтобы визирная линия была перпендикулярна капилляру и проходила через верхнюю (нижнюю) точку мениска ртути (спирта).

Отсчеты следует делать быстро. В первую очередь отсчитывают десятые доли градуса, а затем целые градусы. Такая последовательность отсчетов уменьшает влияние наблюдателя на термометр.

Для измерения температуры выше (-35°C) применяют ртутные термометры, а ниже этой температуры -спиртовые или толуоловые. Измерение температуры выше ($+25^{\circ}\text{C}$) спиртовыми и толуоловыми термометрами не рекомендуется, так как при более высокой температуре эти жидкости частично испаряются, что ведет к занижению показаний термометра.

2.1.2. Деформационные термометры

В метеорологии в основном применяются биметаллические деформационные термометры, чувствительным элементом которых является пластинка из двух металлов с различными коэффициентами теплового расширения. Обычно это инвар и сталь. Инвар имеет меньший коэффициент расширения. При повышении температуры пластинка прогнется таким образом, что инвар окажется с вогнутой стороны, а при понижении температуры пластинка прогнется в обратную сторону.

Если один конец биметаллической пластинки закрепить неподвижно, то при изменении температуры её свободный конец будет переме-

щаться. Перемещение свободного конца - пропорционально изменению температуры. Поэтому биметаллические термометры имеют равномерную шкалу.

Биметаллические чувствительные элементы используются в термографах, радиозондах и некоторых других приборах.

2. 1.3. Электрические термометры

а) Термометры сопротивления

Принцип действия термометра сопротивления основан на свойстве материалов менять электрическое сопротивление (проводимость): с изменением температуры. В качестве первичных преобразователей используют металлические проволочные и полупроводниковые терморезисторы. Для металлических терморезисторов температурная зависимость может быть выражена формулой:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

где R_t – сопротивление проводника при температуре t °С; R_0 – сопротивление при 0°С; α – температурный коэффициент сопротивления металла.

Датчик термометра сопротивления представляет собой тонкую проволоку из чистого металла (медь, платина, никель), намотанную на каркас и помещенную в герметически защищенный кожух (длина 10-20 см, диаметр около 1 см).

Полупроводниковые терморезисторы (термисторы) изготавливают из полупроводниковых материалов, обладающих большим температурным коэффициентом. В отличие от металлов, у термисторов сопротивление с ростом температуры убывает. Температурный коэффициент у термисторов в среднем в 10 раз больше, чем у металлов. Поэтому термометры с полупроводниковыми терморезисторами более чувствительными, чем с металлическими. Однако из-за нелинейной зависимости сопротивления от температуры полупроводниковый термометр имеет неравномерную шкалу. Кроме того, связь между сопротивлением и температурой не стабильна. По этому в настоящее время эти термометры применяют для массовых измерений, не требующих высокой точности (с точностью до 1°С).

Измерение температуры с помощью термометров сопротивления сводится к измерению сопротивления, для чего используются уравновешенные или неуравновешенные мосты. В первом случае градуиров-

ка реохорда выполнена в градусах, во втором случае оцифрована в градусах шкала гальванометра.

В метеорологии термометры сопротивления находят применение при дистанционных измерениях температуры воздуха, почвы. Длина кабеля до 120 м и более.

б) Термоэлектрические термометры

В этих термометрах используется термоэлектрический эффект, состоящий в том, что в замкнутой цепи из двух разнородных металлов, по концам соединенных между собой (места соединений называются спаями), возникает электродвижущая сила пропорциональная разности температур спаев. Сила тока измеряется чувствительным гальванометром.

В метеорологии термоэлектрические термометры используются для измерения градиентов температуры, а также для измерения температуры воздуха, почвы и воды. В случае измерения температуры “холодный спай” поддерживается при постоянной температуре или его температура должна измеряться вспомогательным термометром.

Термоэлектрический принцип находит применение и в ряде приборов, например, в актинометрических.

Термометры с термоэлементами в некоторых случаях имеют преимущества перед другими термометрами, особенно при измерении разности температур. Они могут обеспечить измерение во всем диапазоне температур, встречающихся в метеорологии. Им не требуется источник питания. Их существенным недостатком является малая чувствительность.

в) Термотранзисторные термометры.

Термотранзисторами называют транзисторы, применяемые в качестве первичных преобразователей температуры. Температура определяется по напряжению эмиттер-база. Могут применяться при температуре от (-70°C) до (+200°C). Термотранзисторы обладают стабильностью, линейностью, высокой чувствительностью.

2.2 . Измерение температуры воздуха

Термометр психрометрический ртутный метеорологический ТМ-4

Психрометрический термометр предназначен для измерения температуры воздуха, а также он используется в психрометре для определения влажности воздуха. Отсюда и его название “Психрометричес-



Рис.2.1. Термометр психрометрический ТМ-4

кий". Это ртутный термометр со вставной шкалой (рис.2.1). Длина термометра 410 мм, диаметр 17 мм. Резервуар шарообразный диаметром 9-12 мм, капилляр круглый с наружным диаметром 2,5 мм. Пространство над ртутью заполнено азотом. Для установки термометра в штативе на верхнем конце стеклянной оболочки имеется металлический колпачок. Числовые отметки шкалы нанесены через 5°C . Пределы измерений: от -35 до $+40^{\circ}\text{C}$ или от -25 до $+50^{\circ}\text{C}$, цена деления шкалы $0,2^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения: при температуре от 0 до $+50^{\circ}\text{C}$ не более $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, при температуре от 0 до -35°C не более $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Коэффициент инерции в малоподвижном воздухе составляет около 300 с.

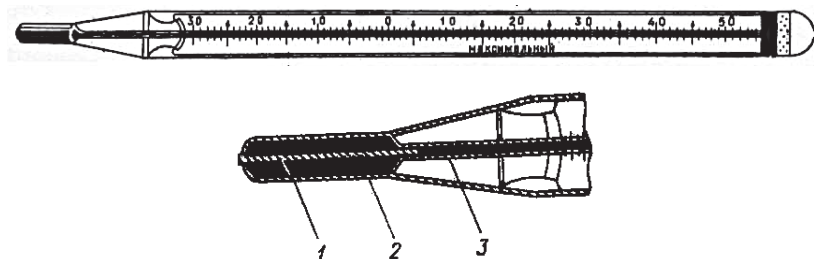
Термометр спиртовой метеорологический низкоградусный ТМ-9

Так как ртуть замерзает при температуре -39°C , то для определения температуры воздуха ниже -35°C применяется специальный спиртовой термометр, так называемый дополнительный (к ртутному психрометрическому). Этот термометр отличается от психрометрического тем, что в нем используется спирт. Резервуар цилиндрический диаметром 6 мм. Пределы измерений: от -65 до $+25^{\circ}\text{C}$ или от -75 до $+25^{\circ}\text{C}$. Цена деления шкалы $0,5^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения при температуре от $+20$ до -20 не более $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; при температуре -70°C не более $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$.

Наблюдения по дополнительному спиртовому термометру следует проводить параллельно с психрометрическим ртутным термометром; как только температура воздуха начнет опускаться ниже -20°C . Это необходимо для определения так называемой добавочной поправки для спиртового термометра.

Термометр спиртовый метеорологический максимальный ТМ–2 (Рис.2.2.)

Термометр предназначен для определения максимального значения температуры за какой-либо промежуток времени (на метеостанциях между сроками наблюдений).



*Рис. 2.2. Максимальный термометр
1 – штифт, 2 – резервуар, 3 – капилляр.*

Этот термометр со вставной шкалой длиной 340 мм, диаметром 18 мм.

Резервуар цилиндрической формы диаметром около 8 мм. Пространство над ртутью в капилляре создан вакуум. Пределы измерений: от -35 до $+50^{\circ}\text{C}$, или от -20 до $+70^{\circ}\text{C}$. Цена деления $0,5^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения: при температуре от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$ не более $0,4^{\circ}\text{C}$; при температуре -30°C не более $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

Показания максимальных значений температуры этим термометром сохраняются с помощью стеклянного штифта, прикрепленного ко дну резервуара, и вакуума в капилляре над ртутью. При повышении температуры избыток ртути вытесняется из резервуара в капилляр через узкое кольцевое отверстие между штифтом и стенками капилляра и остается там при понижении температуры, поскольку молекулярных сил сцепления ртути не достаточно для преодоления сопротивления в месте сужения. Таким образом, положение верхнего конца столбика ртути в капилляре относительно шкалы соответствует максимальной температуре.

Для подготовки максимального термометра к следующему измерению его берут за середину и, держа резервуаром вниз, делают несколько резких взмахов рукой, встряхивая термометр так, чтобы перегнать часть ртути из капилляра в резервуар. После этого показания термометра не должны отличаться от показаний психрометрического тер-

мометра более, чем на $0,2^{\circ}\text{C}$. Затем термометр укладывают на место с небольшим наклоном в сторону резервуара (резервуар на 1-2 см ниже противоположного конца).

Термометр спиртовой метеорологический минимальный ТМ-2 (Рис.2.3.)

Предназначен для определения минимальной температуры за какой-либо промежуток времени (на метеостанциях за промежуток времени между сроками наблюдений).

Этот термометр со вставной шкалой, длиной 340 мм, диаметром 19 мм. Резервуар цилиндрический диаметром 7-10 мм. Пределы измерений: от -75 до $+21^{\circ}\text{C}$; от -61 до $+31^{\circ}\text{C}$; от -51 до $+31^{\circ}\text{C}$; от -41 до $+41^{\circ}\text{C}$. Цена деления шкалы $0,5^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения: при температуре $+40$ до -20°C не более $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; при температуре ниже -60°C не более $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$.

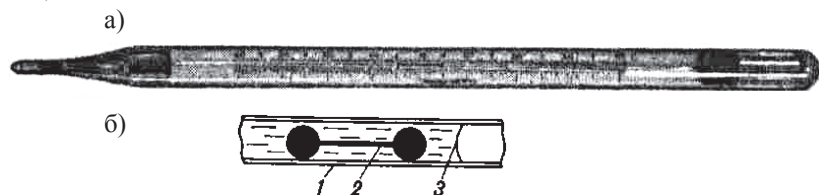


Рис.2.3 Термометр минимальный (а) и устройство, обеспечивающее сохранность минимальных значений (б).

1 – капилляр, 2 – штифт, 3 – мениск спирта.

Термометрическая жидкость – спирт. Внутри спирта в капилляре находится небольшой штифт из темного стекла, имеющий на своих концах утолщение в форме булавочных головок. Штифт может свободно перемещаться в спирте.

Подготавливая минимальный термометр к измерениям, его наклоняют резервуаром кверху и ждут, пока штифт дойдет до мениска спирта в капилляре. Затем термометр кладут горизонтально. При понижении температуры поверхностная пленка спирта будет увлекать штифт в сторону резервуара, так как сила трения головок штифта о стенки капилляра меньше силы поверхностного натяжения пленки. При повышении температуры спирт расширяясь будет обтекать штифт, не сдвигая его с места. Сила трения головок о стенки капилляра удерживает его на месте. Таким образом, дальний от резервуара конец штифта укажет минимальную температуру.

Термометр – пращ ртутный метеорологический ТМ-8 (Рис.-2.4)

Термометр предназначен для измерения температуры воздуха при метеорологических наблюдениях. Термометр палочного типа, представляющий собой толстостенный капилляр с расширенным концом, переходящим в резервуар. Шкала нанесена на наружной поверхности капилляра. Длина термометра 190 мм, диаметр 8 мм. Интервал измерений: от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$; от -35 до $+40^{\circ}\text{C}$. Цена деления шкалы 1°C . Погрешность измерений: при температуре от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$ не более $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; при температуре -30°C не более $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$.



*Рис. 2.4. Термометр – пращ
1-термометр, 2-шнур.*

К шарикю на конце термометра крепится шнур длиной около 0,5 м с петлей на конце. Надев петлю на указательный палец, вращают термометр над головой в горизонтальной плоскости со скоростью не более одного-двух оборотов в секунду. После 100 оборотов берут отсчет, не касаясь термометра руками и став спиной к Солнцу, а затем продолжают вращение и заканчивают его после достижения сходимости отсчётов в пределах $0,2 - 0,3^{\circ}\text{C}$.

Термограф метеорологический М-16 (Рис. 2.5; 2.6)

Термограф предназначен для непрерывной регистрации изменений температуры воздуха в пределах от -45 до $+55^{\circ}\text{C}$, погрешность измерения $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Прибор состоит из чувствительного элемента - биметаллической пластинки, передаточного механизма, регистрирующей части и корпуса.

Температурные деформации биметаллической пластинки через систему рычагов передаются на стрелку, на конце которой имеется перо в виде небольшой пирамидки, заполняемой специальными чернилами, и вершиной обращенной к диаграммной ленте, закреплённой на барабане часового механизма. Весь механизм смонтирован на металлической пластине, прикрепленной к пластмассовому корпусу.

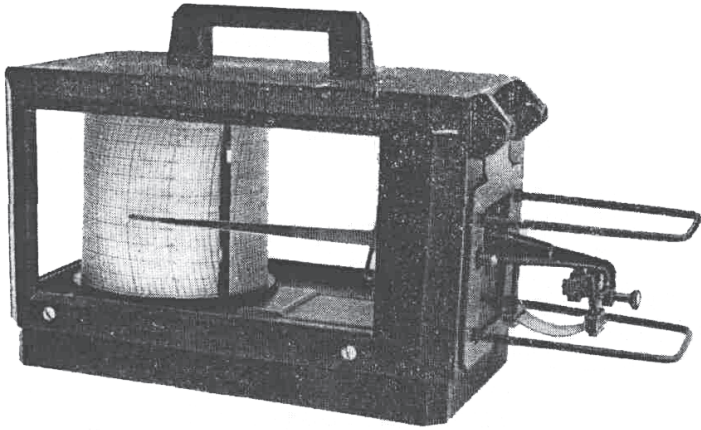


Рис. 2.5. Термограф

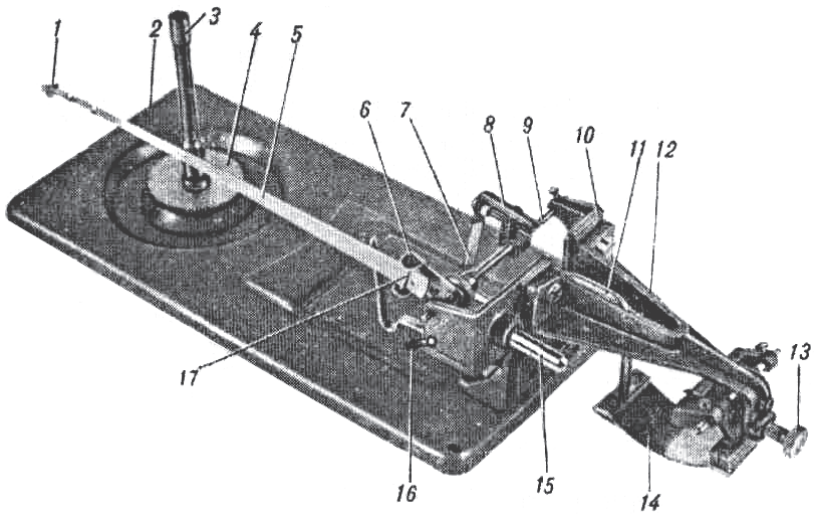


Рис. 2.6. Механизм термографа

1-перо, 2-Плата, 3-ось барабана, 4- неподвижная шестерня, 5-
 стрелка, 6-рамка шарнира стрелки, 7-тяги, 8 – 11-рычаги, 9-ось
 стрелки, 10 и 12 – кронштейны, 13-установочный винт, 14-
 биметаллическая пластина, 15-кнопка, 16-рычажок, 17-ось шарнира
 стрелки

Вращение барабана происходит в результате обкатывания маленькой шестерни (рис. 2.7), приводимой в движение пружиной часового механизма, по шестерне, закрепленной неподвижно на плате.

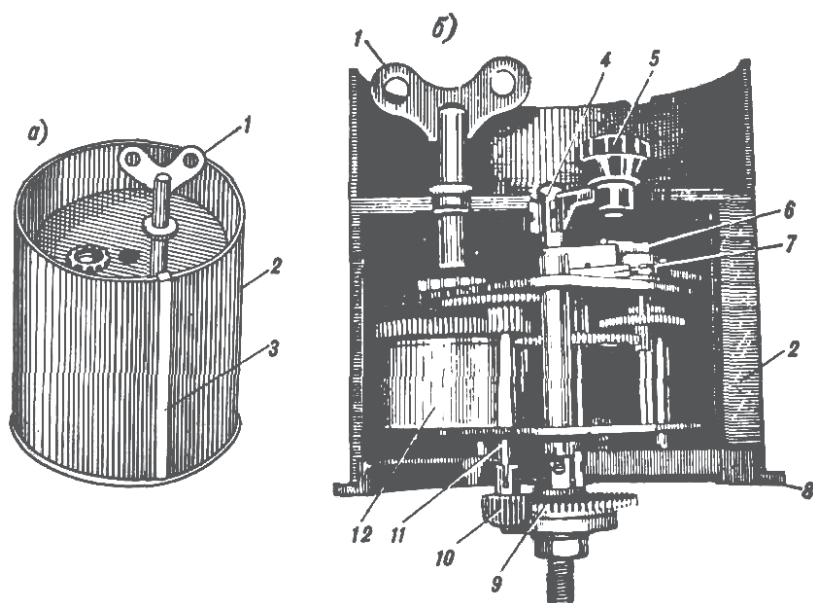


Рис. 2.7. Барабан с часовым механизмом.

а-общий вид; *б*-разрез барабана: 1-ключ; 2-барабан; 3-зажимная пружина; 4-ось; 5-пробка; 6-регулятор; 7-ход; 8-основание; 9-под-кладное колесо; 10-трибка; 11-ось трубки; 12-заводной барабан.

Часовые механизмы выпускаются: суточные с продолжительностью одного оборота барабана 26 ч, и недельные с продолжительностью одного оборота 176 ч.

Диаграммная лента разделена по вертикали горизонтальными параллельными линиями с ценой деления 1°C , а по горизонтали - вертикальными дугообразными линиями с ценой деления 15 мин для суточного термографа и 2 ч для недельного. Прибор имеет приспособление, с

помощью которого на диаграммной ленте пером стрелки можно делать отметки /засечки/ времени записи, не открывая корпуса прибора. Отметки наносятся нажатием кнопки 12 (рис.2.6). Начальная установка пера стрелки на требуемое деление диаграммной ленты осуществляется вращением установочного винта 13 .

2.3. Измерение температуры деятельного слоя

2.3.1. Измерение температуры поверхности почвы, снежного покрова и определение их состояния

Поверхность почвы и снежного покрова являются подстилающей поверхностью, которая непосредственно взаимодействует с атмосферой, поглощает солнечную и атмосферную радиацию и сама излучает в атмосферу, участвует в тепло- и влагообмене, и оказывает влияние на термический режим нижележащих слоев почвы.

Для измерения температуры почвы и снежного покрова в сроки наблюдений используется термометр ртутный метеорологический ТМ-3 с пределами шкал от -10 до +85°С; от -25 до +70°С; от -35 до +60°С, с ценой деления шкалы 0,5°С. Погрешность измерения при температурах выше -20 ° С составляет $\pm 0,5^\circ \text{C}$, при более низких температурах $\pm 0,7^\circ \text{C}$.

Для определения экстремальных температур между сроками используются максимальный ТМ-1 и минимальный ТМ-2 термометры. (Такие же, как для определения температуры воздуха в психрометрической будке).

Измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова производятся на незатененном участке размером 4х6 м в южной части метеорологической площадке. Летом измерения производятся на оголённой, разрыхленной почве, для чего весной участок перекапывается.

Термометры укладываются резервуарами к востоку на расстоянии 5-6 см друг от друга: первый с севера – срочный, затем минимальный и за ним максимальный. Срочный и минимальный термометры находятся строго в горизонтальном положении, а максимальный имеет небольшой наклон в сторону резервуара. В тёплое время года резервуар и защитная оболочка термометров (по диаметру) должны быть наполовину погруженными в почву, а при наличии снежного покрова – в снег. Отсчёты по термометрам берут с точностью до 0,1°С. Порядок взятия отсчётов и подготовка минимального и максимального термометров такие же, как и при измерении температуры воздуха.

Состояние почвы и снежного покрова оцениваются визуально. Измерение температуры и наблюдение за состоянием подстилающей поверхности ведутся в течение всего года.

Следует отметить, что применяемая на сети метеорологических станций методика измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова, является несовершенной, так как полученные результаты не отражают в полной мере фактическую температуру поверхности почвы и снежного покрова.

2.3.2. Измерение температуры в верхнем слое почвы

Для измерения температуры в верхнем слое почвы применяют термометры ртутные метеорологические коленчатые (Савинова) ТМ-5. Термометры выпускаются комплектом по четыре термометра для измерения температуры почвы на глубинах 5,10,15,20 см. Пределы измерения от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$ цена деления шкалы $0,5^{\circ}\text{C}$, погрешность измерения $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Резервуары цилиндрические. Термометры изогнуты под углом 135° в местах, отстоящих от резервуара на 2-3 см. Это позволяет устанавливать термометры так, чтобы резервуар и часть термометра до изгиба находилась в горизонтальном положении под слоем почвы, а часть термометра со шкалой располагалась над почвой (рис. 2.8).

Капилляр на участке от резервуара до начала шкалы покрыт теплоизоляционной оболочкой, что уменьшает влияние на показания термометра слоя почвы, лежащего над его резервуаром, обеспечивает более точное измерения температуры на глубине, где находится резервуар.

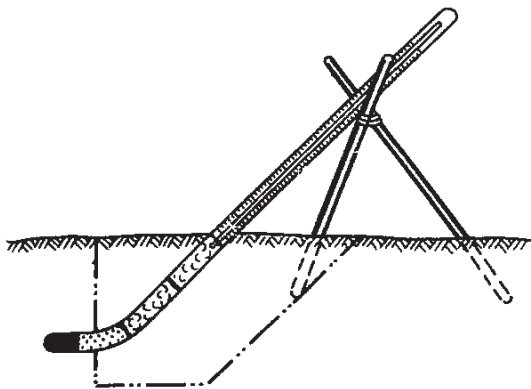


Рис. 2.8. Установка коленчатых термометров в почву.

Наблюдения по термометрам Савинова производят на той же площадке, где устанавливаются термометры для измерения температуры поверхности почвы.

Наблюдения производят в единые сроки и только в теплую часть года. При понижении температуры на глубине 5 см ниже 0°C термометры выкапывают, весной устанавливают после схода снежного покрова.

Отсчёты по коленчатым термометрам и по термометрам для измерения температуры на поверхности почвы производят с откидного речного настила, который после окончания наблюдений убирается.

2.3.3. Измерение температуры почвы и грунта на глубинах под естественным покровом

Для измерения температуры почвы применяется термометр ртутный метеорологический почвенно-глубинный ТМ-10. Его длина 360 мм, диаметр 16 мм, верхний предел шкалы от $+31$ до $+41^{\circ}\text{C}$, а нижний предел от -10 до -20°C . Цена деления шкалы $0,2^{\circ}\text{C}$, погрешность измерения при плюсовых температурах $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, при отрицательных $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$.

Термометр помещается в винилпластовую оправу, снизу заканчивающуюся медным или латунным колпачком, заполненным вокруг резервуара термометра медными опилками (рис.2.9). К верхнему концу оправы крепится деревянный стержень, с помощью которого термометр погружается в эбонитовую трубу (рис.2.9; 2.10), находящуюся в грунте на глубине измерения температуры почвы.

Нижний конец этой трубы также заканчивается медным колпачком. Резервуар термометра воспринимает температуру почвы через медные колпачки эбонитовой трубы и оправы, а также через опилки, окружающие ре-

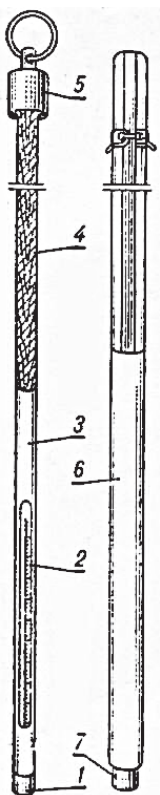


Рис. 2.9. Термометр
вытяжной

1 и 7 – металлические колпачки, 2 –
термометр, 3 – винилпластовая оправа, 4 –
деревянный шест, 5 – колпачок с кольцом, 6
– эбонитовая труба.

зервуар термометра. Кроме этого, опилки увеличивают тепловую инерцию термометра, что необходимо для сохранения его показаний при извлечении из трубы и взятия отсчётов. Общий вид установки показан на рис.2.10.

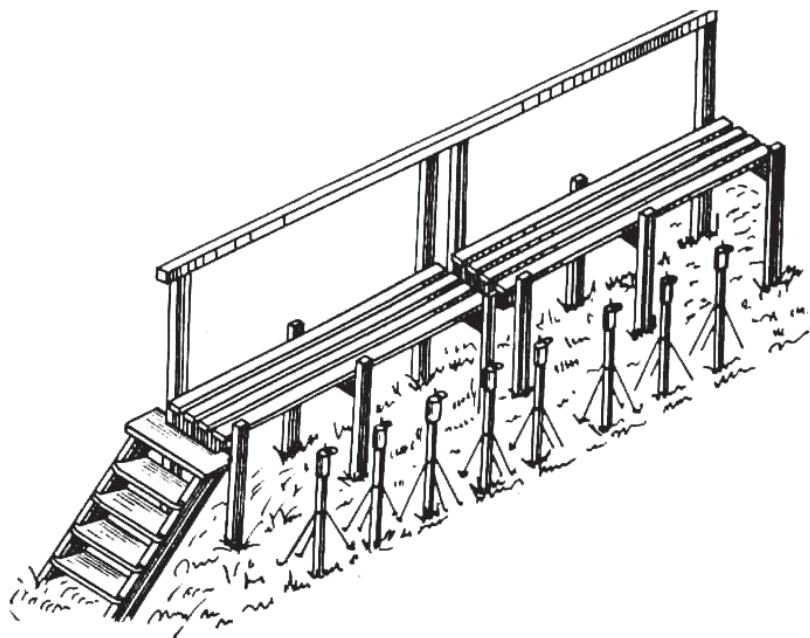


Рис. 2.10. Размещение установки ТПВ на метеорологической площадке.

Измерения производятся на участке размером 6х8 м с естественным растительным покровом в юго-восточной части метеоплощадки. Вытяжные почвенно – глубинные термометры устанавливаются по линии восток-запад на расстоянии 50 см друг от друга на глубинах 0,20; 0,40; 0,80; 1,20; 1,60; 2,40; 3,20 м в порядке возрастания глубин.

При снежном покрове до 50 см выступающая часть трубы над поверхностью земли составляет 40 см, при большей высоте снежного покрова-100 см. Установку наружных (эбонитовых) труб производят с помощью бура с тем, чтобы меньше нарушать естественное состояние почвы.

С северной стороны на расстоянии 30 см от линии термометров устанавливается помост, который опускается на время производства наблюдений, затем откидывается в вертикальное положение.

Наблюдения по вытяжным термометрам производят круглый год, ежедневно на глубинах 0,20 и 0,40 м – все восемь сроков (кроме периода, когда высота снега превысит 15 см), на остальных глубинах - один раз в сутки. Кроме измерений температуры в зимнее время, производятся отсчёты высоты снежного покрова по снегомерной рейке, установленной вблизи этих термометров.

2.3.4. Измерение температуры воды у поверхности

Для измерения используется ртутный термометр с ценой деления $0,2^{\circ}\text{C}$, с пределами шкалы, от -5 до $+35^{\circ}\text{C}$. Термометр помещен в оправу, которая предназначена для сохранения показаний термометра после его поднятия из воды, а также для предохранения от механических повреждений. Оправка состоит из стакана и двух трубок: наружной и внутренней (рис.2.11).

Термометр в оправе помещается так, чтобы его шкала располагалась против имеющихся в трубках прорезей, а резервуар термометра в средней части стакана. Оправка имеет дужку для крепления к тросу. При погружении термометра поворотом наружного чехла прорезь закрывают, а после подъема и для взятия отсчёта – открывают. Время выдержки термометра в точке 5-8 мин, заглубление в воду не более 0,5 м.

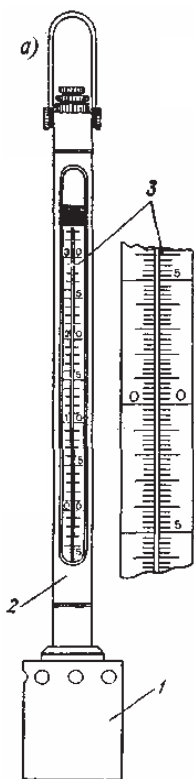


Рис. 2.11. Ртутный термометр для измерения температуры воды в оправе.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Наиболее распространенными методами измерения влажности воздуха являются психрометрический и гигрометрический, а приборами соответственно являются – психрометр и гигрометр.

3.1. Психрометрический метод

Психрометрический метод основан на измерении влажности воздуха по понижению температуры тела при испарении с его поверхности, за счет затраты тепла на испарение воды. Приборы, основанные на психрометрическом методе – называются психрометрами.

В психрометре используются два термометра, у одного из которых (смоченный термометр), резервуар обернут смачиваемым батистом. Вследствие испарения с поверхности батиста, температура смоченного термометра будет ниже температуры сухого термометра, показывающего температуру воздуха, и тем ниже, чем меньше влажность воздуха.

Парциальное давление водяного пара в воздухе определяется по психрометрической формуле, на основании которой составлены психрометрические таблицы

$$e = E' - A p (t - t') \cdot (1 + 0,00115 \cdot t'), \text{ гПа}$$

где E' – парциальное давление водяного пара, насыщающего пространство, при температуре смоченного термометра;

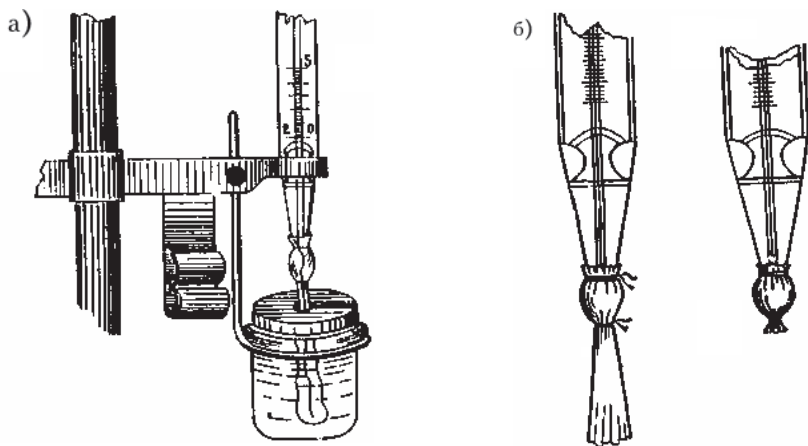
A – психрометрический коэффициент, учитывающий скорость движения воздуха;

p – атмосферное давление, гПа;

t и t' – соответственно температура сухого и смоченного термометров, °С; $(1 + 0,00115 \cdot t')$ – учитывает зависимость теплоты испарения от температуры.

Станционный психрометр

Психрометр состоит из двух психрометрических термометров ТМ-4 с возможно близкими характеристиками. Один из них является сухим, второй – смоченным. Оба термометра закрепляются в штативе в вертикальном положении. Резервуар смоченного термометра обертывается батистом, конец которого погружен в стаканчик с дистиллированной водой. Стаканчик закрыт крышкой с прорезью, через которую пропущен батист (рис.3.1).



*Рис. 3.1. а) психрометрический стаканчик на штативе;
б) обвязка резервуара, смоченного термометра батистом при
положительной (слева) и отрицательной (справа) температуре.*

Нижняя поверхность резервуара должна возвышаться над уровнем воды на 2–3 см, а над крышкой стаканчика на 2 см. При этом обеспечивается поступление воды по батисту к поверхности резервуара, и в то же время обеспечивается свободный обмен воздуха у резервуара. Для психрометров применяется специальный сорт батиста, обладающий необходимыми гигроскопическими свойствами.

Для стационарного психрометра, установленного в жалюзийной будке, психрометрический коэффициент принят: $A = 7,947 \cdot 10^{-4}$, что соответствует скорости вентиляции в будке 0,8 м/с.

При соблюдении определенных правил влажность воздуха психрометром можно измерять при отрицательных температурах воздуха до -10°C .

Психрометр аспирационный МВ-4М (рис.3.2.)

Предназначен для измерения температуры и влажности воздуха в стационарных, экспедиционных условиях, а также в промышленных и бытовых помещениях. Физический принцип действия аспирационного психрометра такой же, как и стационарного, но он содержит аспирационное устройство (вентилятор), создающий протяжку воздуха у резервуаров термометров с постоянной скоростью 2 м/с.

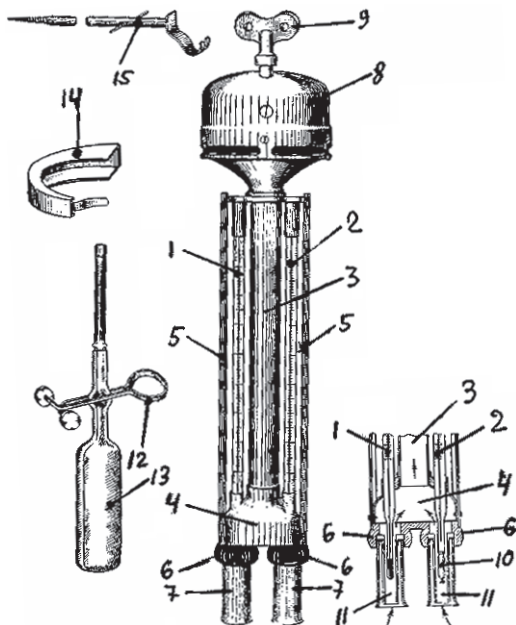


Рис.3.2. Аспирационный психрометр.

1 – сухой термометр; 2 – смоченный термометр; 3 – трубка; 4 – тройник; 5 – планочная защита; 6 – пластмассовые втулки; 7 – защитные трубки; 8 – аспиратор; 9 – заводной ключ; 10 – батист; 11 – внутренние трубки; 12 – зажим; 13 – резиновая груша; 14 – ветровая защита; 15 – крюк.

Прибор имеет два одинаковых ртутных термометра **1, 2**, укрепленных в металлической оправе, состоящей из трубки **3** с тройником **4** и планочных защит **5**. К тройнику **4** с помощью пластмассовых втулок **6** прикреплены по две трубки **7** (для радиационной защиты и вентиляции резервуаров термометров). Верхний конец трубки **3** соединен с головкой аспиратора **8**.

Головка состоит из пружинного механизма и вентилятора, создающего ток воздуха через трубки **3** и **11** около резервуаров термометров. Пружина заводного механизма заводится ключом.

Наряду с аспирационным психрометром с пружинным механизмом применяется аспирационный психрометр М-34 с электродвигателем. Питание этого прибора от сети.

Резервуар правого термометра **2** являющимся смоченным обернут батистом **10**, коротко срезанным под резервуаром. Все металлические поверхности никелированы, что обеспечивает отражение падающих на них солнечных лучей, исключая нагрев корпуса.

Пределы шкал термометров от -31° до $+51^{\circ}$ С, цена деления шкал $0,2^{\circ}$ С.

Для измерений психрометр устанавливают на столбе с помощью специального крюка **15** так, чтобы резервуары термометров находились на высоте 2-х метров над поверхностью земли. Зимой психрометр устанавливают за 30 мин, а летом за 15 мин до начала измерений. При некоторых специальных наблюдениях психрометр может располагаться и в горизонтальном положении, и на высоте отличной от 2-х м.

Затем производят смачивание батиста смоченного термометра с помощью прилагаемой к прибору груши с пипеткой **12**, **13**. После этого заводят пружинный механизм аспиратора и устанавливают психрометр на место. По истечении 4-5 мин берут отсчёты по сухому и смоченному термометрам, сначала десятые доли, а затем целые градусы.

Для исключения влияния ветра (более 4 м/с) на аспиратор надевают с наветренной стороны ветровую защиту **14**.

Парциальное давление водяного пара определяется по психрометрической формуле с аспирационным коэффициентом $A = 6,620 \cdot 10^{-4}$ или по психрометрическим таблицам.

При вычислении влажности воздуха по аспирационному психрометру скорость обтекания резервуаров термометров воздухом принята равной 2 м/с. Для контроля соответствия фактической скорости воздуха требуемому значению психрометр устанавливают в вертикальное положение, и при полностью заведенной пружине определяют время одного оборота барабана пружинного механизма. По секундомеру отмечают два следующих друг, за другом момента времени, когда вертикальная риска на барабане совпадает с риской на окошечке в корпусе аспиратора. Время одного оборота барабана не должно отличаться от указанного в поверочном свидетельстве более, чем на 5 с.

3.2. Гигрометрический метод

В гигрометрическом методе измерения влажности воздуха используется способность тел адсорбировать (поглощать) водяной пар из

воздуха и в результате этого, деформироваться или менять физические свойства. Приборы, основанные на гигрометрическом методе, называются гигрометрами.

Соответственно методу, различают гигрометры: деформационные, весовые (абсолютные), диффузионные, конденсационные, электролитические и др. Наиболее давно известными и применяемыми, в том числе и в метеорологии, являются волосной и пленочный гигрометры, относящиеся к деформационным.

Гигрометр волосной метеорологический М-19 (МВ-1)

Этот гигрометр, предназначенный для измерения относительной влажности воздуха, является наиболее распространенным на сети метеорологических станций.

Действие прибора основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину в зависимости от относительной влажности воздуха. Еще в 1783 г Соссюр впервые изготовил гигрометр, применив обезжиренный волос.

Гигрометр М-19 (рис. 3.3) состоит из рамки **8** со шкальной пластиной **9** и волоса **10**, верхний конец которого закреплен в отверстии хвостовика **3** регулировочного винта **7**, а нижний конец закреплён на кулачке **13**, связанным со стрелкой **2**. Вращением регулировочного винта стрелку можно установить на требуемое деление шкалы. Натяжение волоса создается грузиком **12**.

При изменении относительной влажности воздуха и соответствующего изменения длины волоса, стрелка под действием грузика перемещается относительно шкалы.

Так как связь между удлинением волоса и относительной влажностью воздуха не линейная, то шкала гигрометра неравномерная. Гигрометр рассчитан на работу при температуре от -50 до $+55^{\circ}\text{C}$. Пределы измерения влажности от 30 до 100 %, погрешность измерения ± 10 %. Цена деления шкалы 1 %. Отсчёты делаются до целого деления шкалы.

При температурах воздуха ниже -10°C гигрометр является основным прибором для измерения влажности воздуха. Прибор является относительным, и поэтому для получения действительных значений относительной влажности воздуха в зимнее время (при температурах ниже -10°C) в показания гигрометра вводят поправки, которые определяются на основании параллельных и одновременных измерений по стационарному психрометру и гигрометру в течение 1-1,5 месяца до наступления устойчивых температур ниже -10°C . По этим измерениям строится гра-

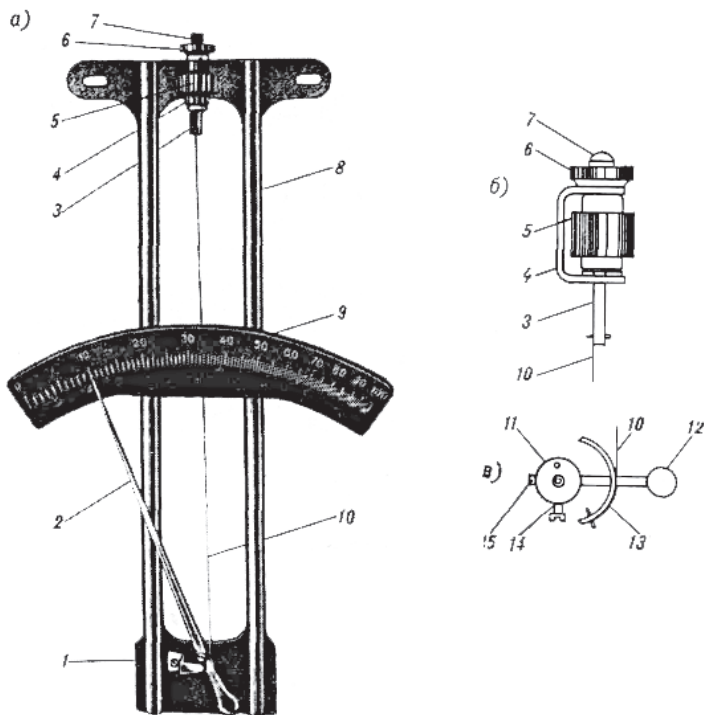


Рис.3.3. Гигрометр волосной (а) и узлы крепления волоса к рамке (б) и стрелке (в)

1 – рамка; 2 – стрелка; 3 – хвостовик; 4 – скоба; 5 – гайка; 6 – контргайка; 7 – винт; 8 – рамка; 9 – шкала; 10 – волос; 11 – ось стрелки; 12 – грузик; 13 – кулачок; 14 – винт; 15 – стерженёк.

фик связи между показаниями психрометра и гигрометра, по которому и определяется поправка.

Гигрометр пленочный метеорологический М-39 (рис.3.4).

Гигрометр, предназначен для измерения относительной влажности воздуха. Принцип действия прибора основан на свойстве гигроскопической органической пленки изменять свои линейные размеры в зависимости от относительной влажности воздуха.

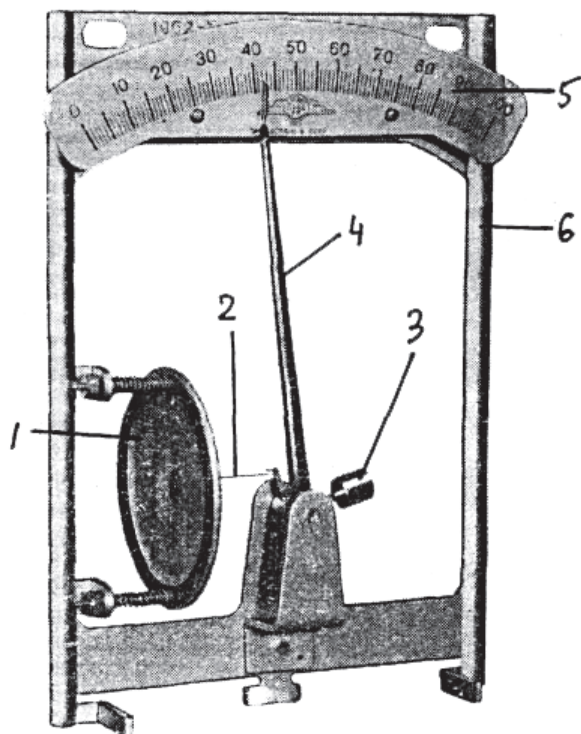


Рис. 3.4. Гигрометр плёночный.

1 – плёнка; 2 – тяга; 3 – грузик; 4 – стрелка; 5 – шкала; 6 – рамка.

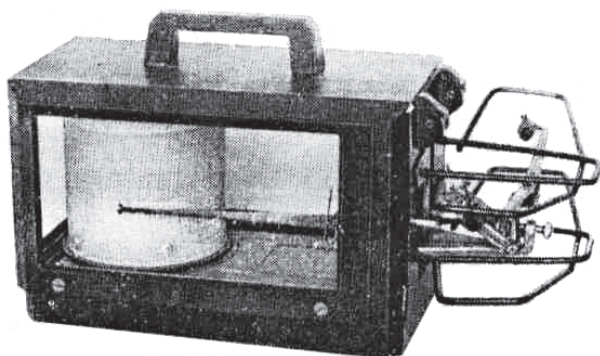
Прибор состоит из чувствительного элемента в виде круглой диафрагмы, из органической пленки, передаточного устройства, стрелки и металлической рамки, на которой крепятся детали. Постоянное натяжение пленки обеспечивается грузиком.

Гигрометр рассчитан на работу при температуре воздуха от -60 до $+35^{\circ}\text{C}$. Пределы измерения от 30 до 100 %, погрешность измерения $\pm 10\%$, цена деления шкалы 1%. Шкала, в отличие от волосного гигрометра, равномерная.

Гигрограф метеорологический М-21 (рис. 3.5).

Гигрограф предназначен для непрерывной регистрации относительной влажности воздуха.

а)



б)

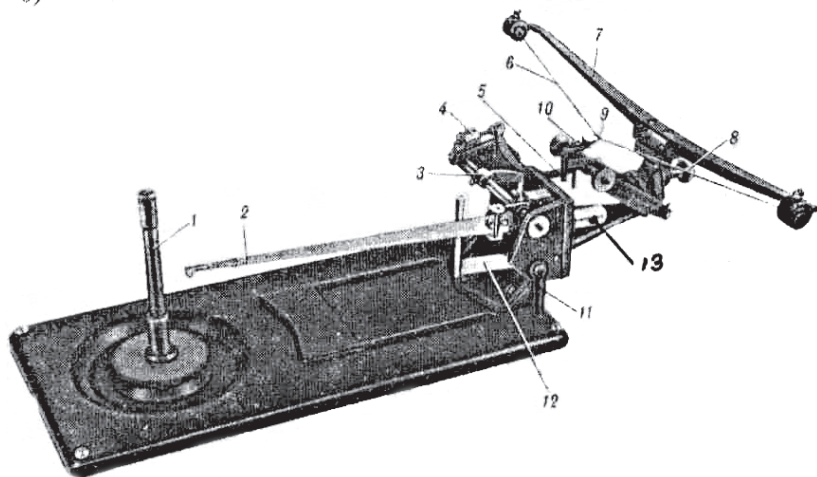


Рис.3.5. Гигрограф волосной.

а) – внешний вид; б) – механизм гигрографа: 1 – ось барабана; 2 – стрелка с пером; 3, 5 – кулачки; 4 – грузик; 6 – пучок волос; 7 – кронштейн; 8 – винт; 9 – крючок; 10 – рычаг; 11 – рукоятка; 12 – арретир; 13 – кнопка.

Чувствительным элементом прибора является пучок волос **6**, который с двух концов закреплен в цапфах кронштейна **7**. Середина пучка волос надета на крючок **9**, который с помощью специального устройства связан со стрелкой **2**. Натяжение пучка волос создается грузиком **4**. Изменение длины волос при изменении относительной влажности воздуха передается на стрелку с закрепленным на ее конце пером, заполняемым чернилами.

Часовой механизм у гигрографа такой же, как и у термографа. Так же как и у термографа, часовые механизмы бывают суточные и недельные. Для нанесения отметок времени на диаграммной ленте имеется кнопка **13**, а для установки пера на требуемое деление диаграммной ленты служит установочный винт **8**.

Гигрограф не является абсолютным прибором, и для определения по нему относительной влажности воздуха вводят поправки, которые определяют по графику, составленному на основании сравнения значений относительной влажности воздуха в срочные часы, полученные по психрометру, и значений, снятых с ленты гигрографа с точностью до 1 %.

Гигрограф метеорологический М-39

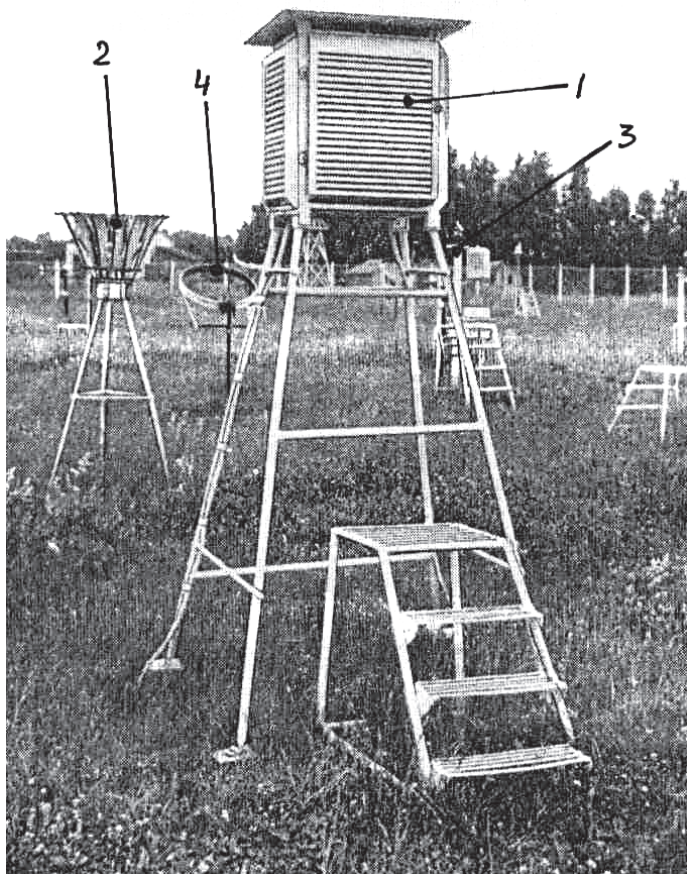
В качестве чувствительного элемента используется круглая мембрана из гигроскопической органической пленки, как и в пленочном гигрометре.

В остальном конструкция аналогична волосному гигрографу.

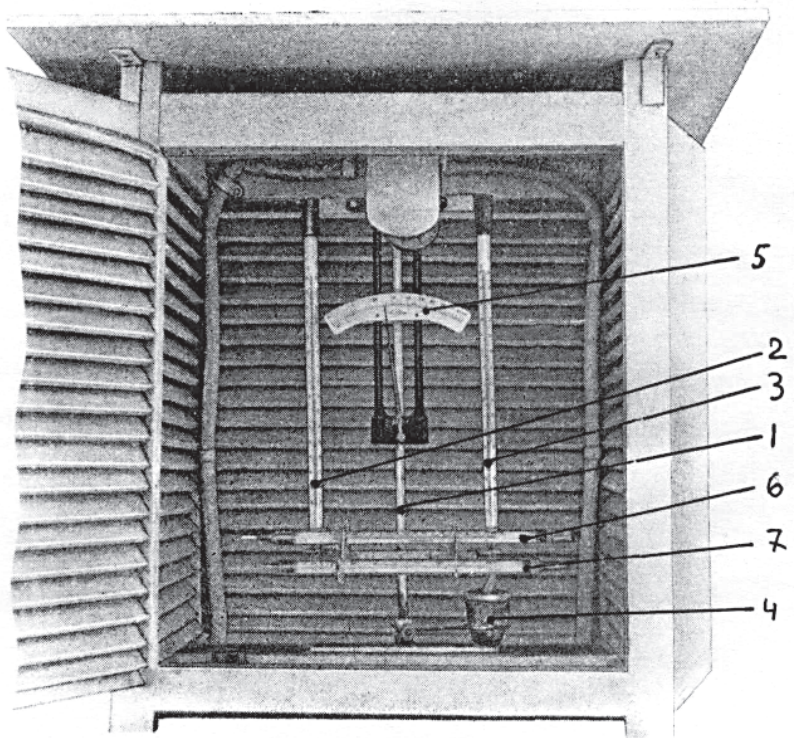
Будки жалюзийные для метеорологических приборов (рис. 3.6; 3.7).

Для защиты от действия атмосферных осадков, порывов ветра, солнечной радиации приборы для измерения температуры и влажности воздуха размещаются в защитных жалюзийных будках типа БП (будка психрометрическая) и БС (будка для самописцев). Они отличаются размерами.

Стенки будок представляют собой двойной ряд тонких деревянных планок – жалюзи, наклоненных внутрь и наружу под углом 45° к горизонту. Передняя стенка служит дверцей. Жалюзи обеспечивают достаточную вентиляцию внутри будок. В будках имеется электрическое освещение. Будки устанавливаются на подставках. Для наблюдателя имеется стремянка, по которой он поднимается для обслуживания при-



*Рис. 3.6. Приборы на метеоплощадке.
1 – будка жалюзийная; 2 – осадкомер; 3 – гелиограф; 4 – пиранометр
с теньевым кольцом.*



*Рис. 3.7. Приборы в жалюзийной психрометрической будке.
1 – штатив; 2 – сухой термометр; 3 – смоченный термометр; 4 –
стаканчик с дистиллированной водой; 5 – гигрометр волосной; 6 –
максимальный термометр; 7 – минимальный термометр.*

боров и взятия отсчётов. Стремянка и дверца будки располагаются с северной стороны.

Внутри психрометрической будки к средней доске пола прикреплен железный штатив, на котором установлены два психрометрических термометра (слева сухой, справа – смоченный). Резервуары обоих термометров должны быть на одном уровне и находиться на высоте 2 м над поверхностью земли. На нижней перекладине штатива имеется кольцо, в которое вставляется психрометрический стаканчик с водой.

В нижней части штатива на железных лапках лежат максимальный и минимальный термометры. Причем лапки должны быть отогнуты так, чтобы максимальный термометр был слегка наклонен в сторону резервуара. Между психрометрическими термометрами на штативе укреплен волосной гигрометр.

В будке для самописцев находятся термограф и гигрограф. Термограф устанавливается на полу будки, при этом его чувствительный элемент должен находиться на высоте 2 м над поверхностью земли. Гигрограф ставится на полочку, расположенную над термографом.

4. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Атмосферное давление равно весу вышерасположенного столба воздуха с основанием равным единице. Величина атмосферного давления не зависит от ориентации поверхности, на которую оно действует.

В метеорологии атмосферное давление выражают в гПа (система СИ). Выходящая из употребления, внесистемная единица давления мм. рт. ст. (миллиметры ртутного столба), сложилась исторически в связи с применением ртутного барометра.

Для прогностических целей, наряду с абсолютной величиной атмосферного давления, на метеорологических станциях определяют величину и форму барической тенденции. Барическая тенденция—это изменение атмосферного давления за время между сроками наблюдений (3 часа при 8-и срочных наблюдениях). Барическая тенденция имеет знак /+/-/ при росте давления, и знак /-/-/ при понижении. Форму тенденции определяют по записи давления самописцем (барографом).

4.1.Ртутный барометр

Основным прибором для измерения атмосферного давления на сети метеорологических станций является ртутный чашечный барометр. Жидкостный барометр изобретен Торричелли (1643 г.), а название “ба-

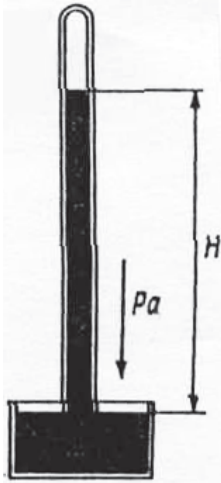


Рис. 4.1. Принцип действия ртутного чашечного барометра.

рометр” приписывают Бойлю (1665 г.), до него прибор называли “Торричеллиевой трубкой”.

Принцип действия ртутного барометра основан на уравнивании атмосферного давления весом ртутного столба.

Если стеклянную трубку, запаянную с одного конца и наполненную ртутью, погрузить открытым концом в ртуть, налитую в чашку, то часть ртути из трубки выльется в чашку. Оставшийся в трубке столб высотой H своим весом уравнивает атмосферное давление P_a , оказываемое на поверхность ртути в чашке т.е. $P_a = c \cdot H \cdot g$ (рис.4.1), где c -плотность ртути; g -ускорение силы тяжести. При изменении атмосферного давления равновесие будет нарушаться, и, соответственно, будет меняться и высота ртутного столба.

Барометры стационарные чашечные ртутные СР-А и СР-Б (рис.4.2.)

На сети метеорологических станций используются барометры чашечные ртутные с компенсированной шкалой СР-А и СР-Б. Пределы измерений для первой модели от 810 до 1070 гПа, для второй модели – от 680 до 1070 гПа. Максимальная погрешность измерения после введения всех поправок не более $\pm 0,5$ гПа.

Эти барометры имеют калиброванную стеклянную трубку **6** диаметром 7,2 мм длиной 800 мм, запаянную с верхнего конца, и заполненную под вакуумом очищенной ртутью. Нижний конец трубки подсоединён к чашке **9**, состоящей из трех частей. Средняя часть чашки **11** имеет диафрагму с отверстиями, которая служит для гашения колебаний ртути, что исключает попадание воздуха в барометрическую трубку. С атмосферным воздухом барометр сообщается через отверстие в крышке чашки, закрывающееся винтом **8**. Трубка **6** защищена металлической оправой **4**, на которой нанесена шкала.

В прорези оправы имеется подвижный нониус **2**, который перемещается вращением кремальеры **5**. Нониус позволяет брать отсчёты с точностью до 0,1 деления основной шкалы. На оправе укреплен термометр **7** (термометр-агташе) для определения температуры ртути баромет-

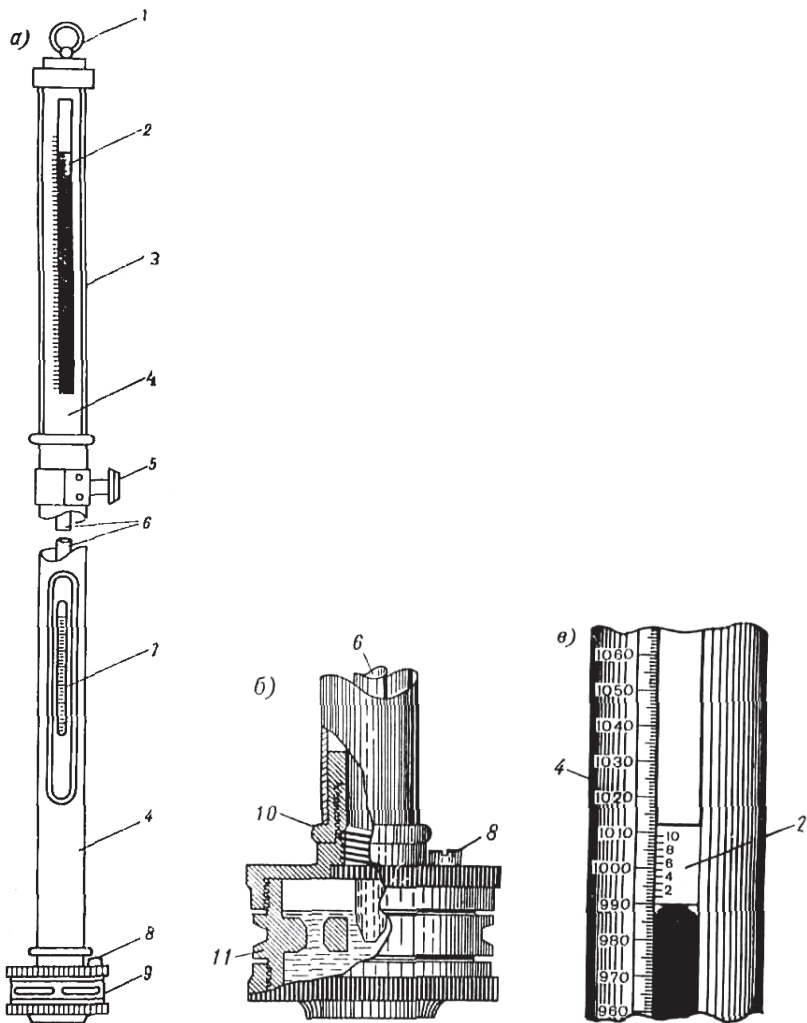


Рис. 4.2. Барометр чашечный стационарный.
 а-общий вид; б-чашка барометра; в-шкала и нониус: 1-кольцо,
 2-нониус, 3-защит-ное стекло, 4-оправа, 5-рукоятка кремальеры,
 6-барометрическая трубка, 7- термометр, 8-винт, 9-чашка,
 10-штулка, 11-средняя часть чашки с диафрагмой.

ра, а сверху на оправе имеется кольцо 1 для подвешивания барометра на месте установки.

В помещении метеостанции барометр находится внутри трехгранного остекленного шкафчика, укрепленного на стене в месте, где нет резких колебаний температуры и прямого попадания солнечных лучей. Барометр должен занимать строго вертикальное положение.

Измерения производят в следующем порядке. Открывают дверцу шкафчика, отсчитывают температуру по термометру-атташе с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$, вращением кремальеры подводят нониус сверху до кажущегося касания его срезов вершины мениска ртути в барометрической трубке. При этом глаз должен находиться на визирной линии, проходящей через нуль нониуса и заднего среза кольца нониуса. Отсчёт берут с точностью до $0,1$ деления шкалы.

При измерении давления с помощью чашечного барометра достаточно определить по его шкале положение мениска ртути в трубке, не определяя уровень ртути в чашке, хотя при изменении давления он также меняется за счет вытеснения ртути из трубки при понижении давления, и поступления ртути из чашки в трубку при росте давления. Изменение уровня ртути в чашке учитывается компенсированной шкалой барометра.

В отсчёты по шкале барометра вводят три поправки.

1. Инструментальная поправка, учитывающая индивидуальные особенности конкретного прибора; она длительное время, остается неизменной, определяется сличением с инспекторским барометром и указывается в поверочном свидетельстве.

2. На приведение веса ртути к нормальному ускорению свободного падения на широте 45° на уровне моря.

3. На приведение показаний барометра к температуре 0°C так, как удельный вес ртути зависит от температуры.

Обычно первая и вторая поправки для метеостанции являются постоянными, поэтому их объединяют в одну общую поправку.

Введением указанных поправок получают давление на уровне станции, которое затем приводят к уровню моря. Для этого используют таблицы, рассчитанные по барометрической формуле.

4.2. Барометр-анероид

Барометр - анероид относится к деформационному виду приборов для измерения атмосферного давления. Чувствительным элементом в таких барометрах является анероидная коробка (барокоробка), преоб-

разующая изменения атмосферного давления в линейные перемещения (деформации).

Анероидная коробка (рис. 4.3) состоит из двух спаянных или сваренных по периметру круглых мембран **1** (диаметром 30-80 мм), имеющих жесткие центры **2** с крепёжными ножками **3**. Из отдельных коробок, скрепленных между собой, могут собираться блоки. Чувствительность блока равна суммарной чувствительности составляющих ее коробок.

Упругая деформация коробки может обеспечиваться за счет упругости материала самой коробки или с помощью дополнительной пружины, находящейся внутри коробки и распирающей ее, или наружной пружины, растягивающей коробку. Внутри коробки создается вакуум. Гофр придаёт коробке большую эластичность. На рис.4.4 показан барометр-анероид БАММ.

Деформации коробки при изменении атмосферного давления через передаточный механизм вызывают перемещение стрелки относи-

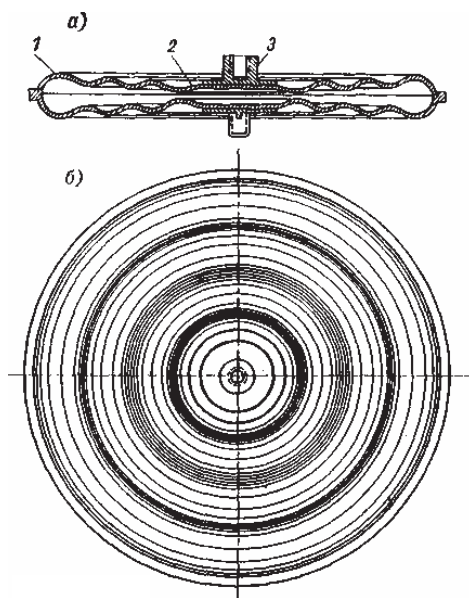


Рис. 4.3. Барокоробка.

а) разрез; б) вид сверху; 1 – мембрана; 2 – центр мембраны; 3 – крепёжная ножка.

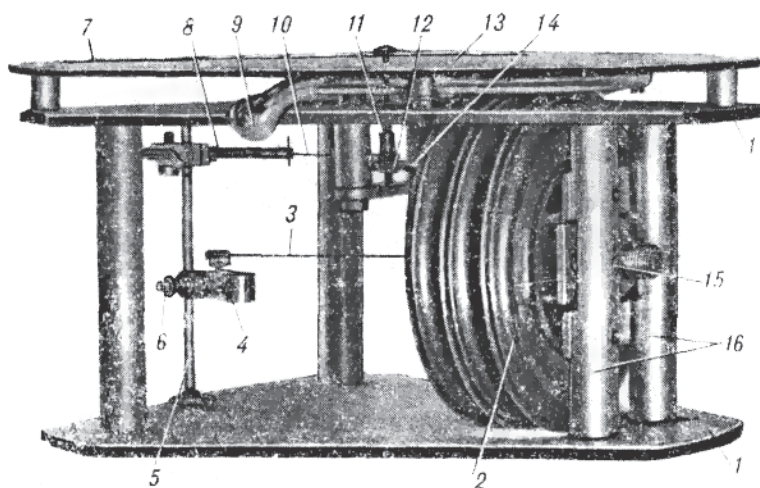
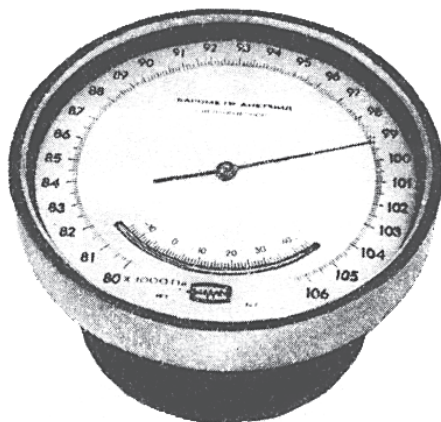


Рис. 4.4. Барометр – анероид БАММ.
 а) – внешний вид; б) механизм

тельно делений шкалы. Передаточное отношение может достигать 1:1000, т.е. небольшие деформации коробки увеличиваются в 1000 раз.

В дуговой прорези шкальной пластины находится термометр. Барометр-анероид хранится в футляре. При измерении футляр открывают, снимают показания термометра с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$. Затем, постукав пальцем по стеклу (для уменьшения трения в механизме), берут отсчёт по стрелке с точностью до 0,1 деления шкалы. При отсчёте луч зрения должен быть направлен перпендикулярно к плоскости шкалы. При измерении давления прибор должен занимать устойчивое положение, а плоскость шкальной пластины должна быть горизонтальна.

Для установки стрелки барометра на требуемое значение давления имеется специальный винт.

В отсчёты по шкале барометра-анероида вводятся три поправки, которые приводятся в поверочном свидетельстве.

1. Температурная, 2. Шкаловая, 3. Добавочная.

Температура оказывает влияние на показания барометра. Так как с изменением температуры меняются упругие свойства коробки, происходят деформации узлов передаточного механизма. Для учёта влияния температуры на показания барометра-анероида принято их приводить к температуре 0°C . Для этого определяют температурный коэффициент, равный изменению показаний барометра при изменении температуры на 1°C .

Шкаловая поправка исключает систематическую инструментальную погрешность, являющуюся следствием технологических допусков при изготовлении передаточного механизма анероидной коробки, т.е. учитывающая индивидуальные особенности прибора, не соответствующие делениям шкалы, одинаковой для всех приборов данного типа.

В поверочном свидетельстве шкаловые поправки даются для всей шкалы через каждые десять делений.

Добавочную поправку определяют при поверке, сличая показания барометра-анероида, исправленные температурной и шкаловой поправками, с показаниями образцового барометра. Это поправка, которую нужно вводить в показания анероида (кроме шкаловой и температурной), чтобы его показания совпадали с показаниями ртутного барометра.

Барометры-анероиды имеют некоторые преимущества перед ртутными барометрами (малые габариты и масса, отсутствие ртути, удобства транспортировки), но они уступают в точности и не применяются на метеорологических станциях в качестве основного прибора для измере-

ния атмосферного давления. Они находят применение в тех случаях, когда измерения давления допустимо с погрешностью более 1 гПа (на некоторых постах и в отдельных экспедициях).

В настоящее время промышленностью выпускаются барометры-анероиды: БАММ с погрешностью измерения $\pm 2,5$ гПа, который может применяться при температуре от -10° до $+40^\circ\text{C}$; барометр МД-49-2 с погрешностью измерения $\pm 0,8$ гПа, может применяться при температуре от -40° до $+40^\circ\text{C}$.

Барограф метеорологический М-22 (рис. 4.5.)

Предназначен для непрерывной регистрации атмосферного давления.

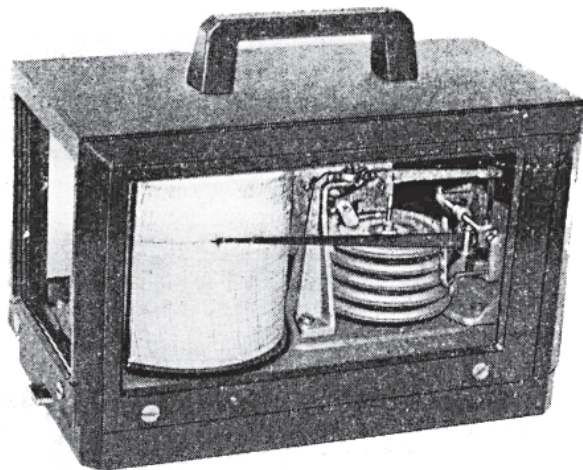


Рис. 4.5. Барограф.

Пределы измерения от 780 до 1060 гПа, погрешность измерения $\pm 1-2$ гПа. Может работать при температуре воздуха от -10 до $+45$ С. Чувствительным элементом барографа является блок из анероидных коробок (рис. 4.6).

Воздух из коробок откачен и атмосферное давление, направленное на сжатие коробок, уравновешивается силой упругости коробок. Нижнее основание блока укреплено на биметаллической пластинке температурного компенсатора, смонтированного на нижней стороне платы. Центр

а)

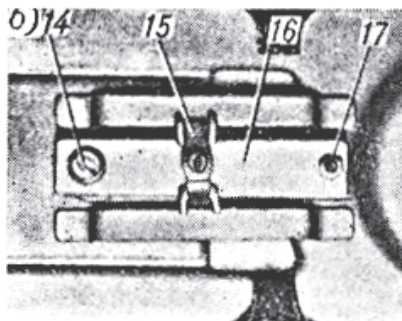
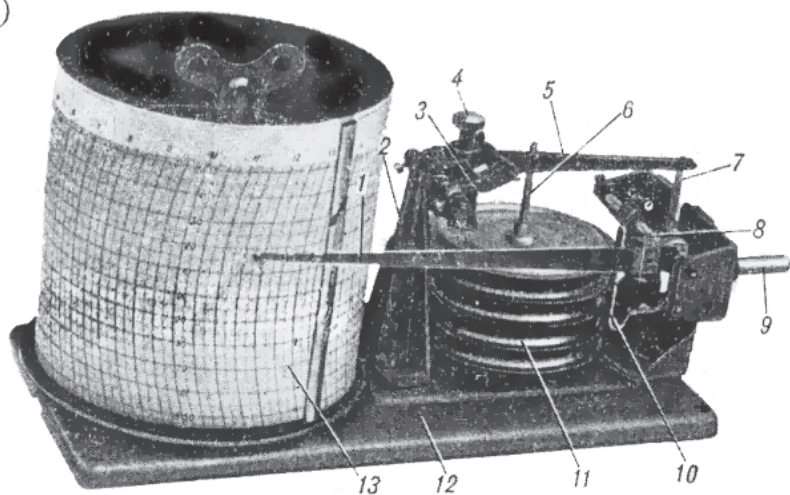


Рис. 4.6. Механизм барографа (а) и
биметаллический термокомпенсатор (б).

1 – стрелка пера; 2,3 – кронштейны; 4 – винт; 5 – рычаг; 6 – упор;
7 – тяга; 8 – ось пера; 9 – кнопка; 10 – рукоятка упора; 11 –
бароблок; 12 – плата; 13 – барабан; 14,17 – винты; 15 – скоба;
16 – биметаллическая пластина.

верхней коробки через передаточную систему связан со стрелкой, на конце которой находится перо. Термокомпенсатор служит для исключения влияния температуры на показания прибора, представляет собой биметаллическую пластинку. При изменении температуры при неизменном давлении температурные деформации блока коробок и биметаллической пластинки будут равные по величине и противоположными по направлению, и стрелка с пером перемещаться не будет.

Механизм вращения барабана такой же, как у вышерассмотренных термографа и гигрографа. На метеостанциях в барографах обычно применяется недельный часовой механизм, (один оборот барабана за 176 ч). Диаграммная лента разделена по вертикали горизонтальными линиями с ценой деления 2 гПа, а по горизонтали – вертикальными дугообразными линиями с ценой деления 2 ч. Механизм барографа помещен в пластмассовый корпус с откидной крышкой. Установка пера стрелки на требуемое деление диаграммной ленты (перевод пера вверх или вниз) осуществляется вращением установочного винта 4, отметка времени производится нажатием кнопки 9.

В помещении метеостанции барограф находится на полочке, укрепленной на стене на высоте 110-130 см от пола. По виду кривой записи между сроками наблюдений определяется форма барической тенденции.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА

Ветер – это горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Ветер характеризуется скоростью и направлением.

Скорость ветра может измеряться в м/с; км/ч, в баллах. За направление принимается направление откуда дует ветер. Для обозначения направления ветра указывают либо румб (по 16-и румбовой системе), либо азимут, отсчитываемый в градусах от северного направления меридиана по часовой стрелке, до направления ветра.

Вследствие турбулентности скорость и направление ветра непрерывно меняются. На метеорологических станциях измеряют среднюю скорость за 10 мин, максимальную скорость за этот же интервал времени (скорость ветра при порывах), максимальную скорость между сроками (за 3 ч при восьмисрочных наблюдениях), м/с и направление ветра, осреднённое за 2 мин (азимут, румб).

На метеостанциях характеристики ветра измеряются на высоте 10-12 м Приборы для измерения скорости ветра называются анемомет-

рами; приборы для измерения скорости и направления ветра называются анеморумбометрами.

Флюгер (рис. 5.1.)

Флюгер, предложенный Вильдом в конце XIX века, является одним из простейших приборов. До настоящего времени он применяется на сети метеорологических станций в качестве запасного прибора, а также как основной на станциях, где нет электрической сети.

Флюгер дает возможность измерять среднюю скорость, максимальные порывы и направление ветра.

На нижней неподвижной трубе флюгера укреплены штыри-указатели направления ветра. Штырь обращенный на север, обозначен буквой "С" или "N". На верхней вращающейся трубе смонтированы флюгарка с противовесом и указатель скорости ветра, состоящий из железной пластины (доски) и дуги со штырями, имеющих радиальное на-

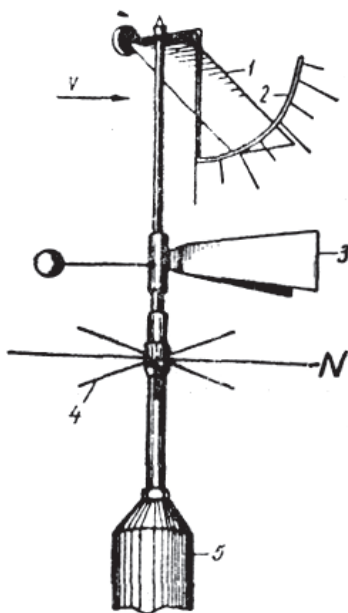


Рис. 5.1. Флюгер.

1 – доска-приёмник скорости ветра; 2 – указатель скорости ветра;
3 – флюгарка; 4 – роза ветров (указатель направления); 5 – столб.

правление. Железная доска размером 13х30 см свободно вращается относительно горизонтальной оси, проходящей через ее верхнюю кромку, которая всегда располагается перпендикулярно к направлению ветра. Для скоростей до 10 м/с служит лёгкая доска массой 200 г, для скоростей более 10 м/с имеется тяжелая доска массой 800 г.

Скорость ветра определяют по отклонению доски относительно штырей указателя скорости, а направление ветра по положению противовеса флюгарки относительно штырей указателя направления.

Флюгеры с легкой и тяжелой доской устанавливаются на отдельных мачтах на высоте 10-12 м. В темное время суток флюгеры освещаются прожектором.

При отсчете скорости ветра наблюдатель отмечает среднее и наибольшее отклонение положения доски за 2 мин, а также за 2 мин отмечается и среднее положение флюгарки. Скорость ветра определяется по таблице, в которой для каждого номера штыря дается значение скорости ветра в м/с для легкой и тяжелой доски.

Анеморумбометр М-63М-1 и М-63М-1М (рис. 5.2.)

Анеморумбометры предназначены для измерения средней за 10 мин, мгновенной и максимальной скорости ветра и определения осреднённого направления ветра. Оба прибора относятся к дистанционным устройствам и на сети метеорологических станций являются основным средством для измерения характеристик ветра.

Пределы измерения скорости ветра от 1,5 до 60 м/с; погрешность измерения скорости $\pm (0,5 + 0,052 v)$, м/с; направления $\pm 10^\circ$, начальная чувствительность по скорости 0,6 м/с, по направлению 1° . Дистанционность 5 км.

Установка состоит из блока датчиков направления и скорости ветра, измерительного пульта и блока питания.

Преобразователи скорости и направления ветра оформлены в виде одного блока датчиков, состоящего из флюгера, представляющего собой сигарообразный корпус со стабилизатором в хвостовой части, и датчика скорости в виде четырехлопастного воздушного винта. Под воздействием флюгарки плоскость вращения винта располагается перпендикулярно к направлению воздушного потока. Скорость вращения винта пропорциональна скорости ветра.

Корпус вместе с наружной трубой на шарикоподшипниках свободно вращается на вертикальной неподвижной стойке, укрепленной на мачте. Внутри корпуса и наружной трубы размещены кинематические и

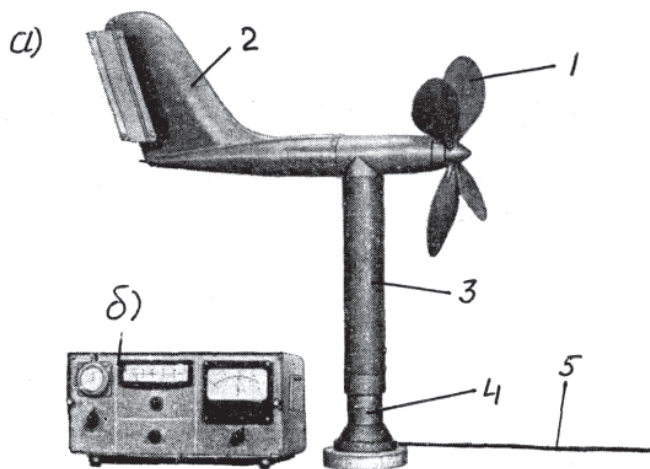


Рис. 5.2. Анеморумбометр М-63М.

- а) датчик скорости и направления ветра. 1 – воздушный винт;
 2 – флюгер; 3 – поворотная часть; 4 – неподвижная часть;
 5 – стержень, ориентированный на север.
 б) измерительный пульт.*

электрические элементы, преобразующие измеряемые величины в электрические импульсы, которые по кабелю поступают на измерительный пульт.

Измерительный пульт представляет собой настольный прибор, на лицевой панели которого размещены шкалы скоростей и направления ветра, кнопки включения прибора, переключения шкал, сброса показаний, индикаторы и др.

В модели анеморумбометра М-63М-1М информация о скорости ветра высвечивается на цифровом табло.

Блок питания обеспечивает работу анеморумбометра от сети переменного тока и от аккумуляторов без подзарядки в течение 3-5 суток (аварийный режим). Для регистрации скорости и направления ветра служит самописец (анеморумбограф). Общий вид датчика скорости и направления ветра анеморумбометра на мачте показан на рис. 5.3.

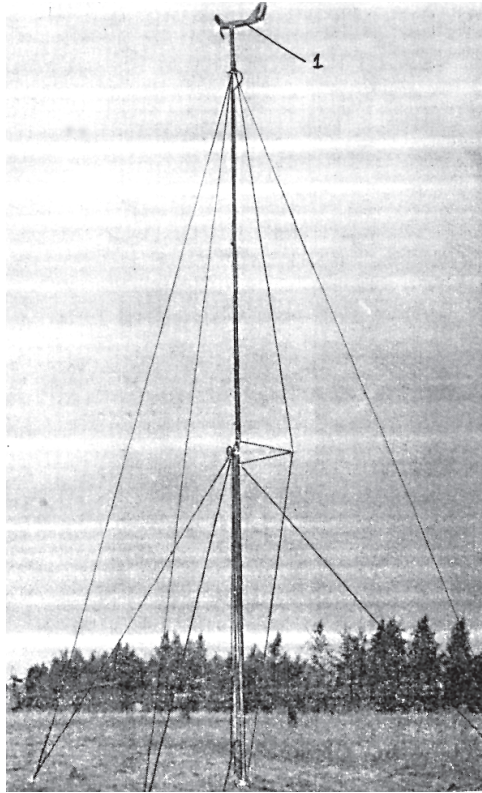


Рис. 5.3. Мачта М-82.

1 – датчик скорости и направления ветра анеморумбометра. Высота мачты 9,5 м.

Анемометр ручной механический МС-13 (рис. 5.4 а)

Анемометр МС-13 предназначен для измерения средней скорости ветра за некоторый промежуток времени, определяемый по секундомеру. Пределы измерения 1-20 м/с; начальная чувствительность 0,8 м/с; погрешность измерения $\pm (0,3 + 0,06v)$ м/с.

Воспринимающей частью анемометра является вращающаяся на вертикальной оси крестовина с четырьмя полыми полушариями, обращенными выпуклостями в одну сторону. Под действием ветра крестовина всегда вращается в сторону выпуклости полушарий, так как давле-

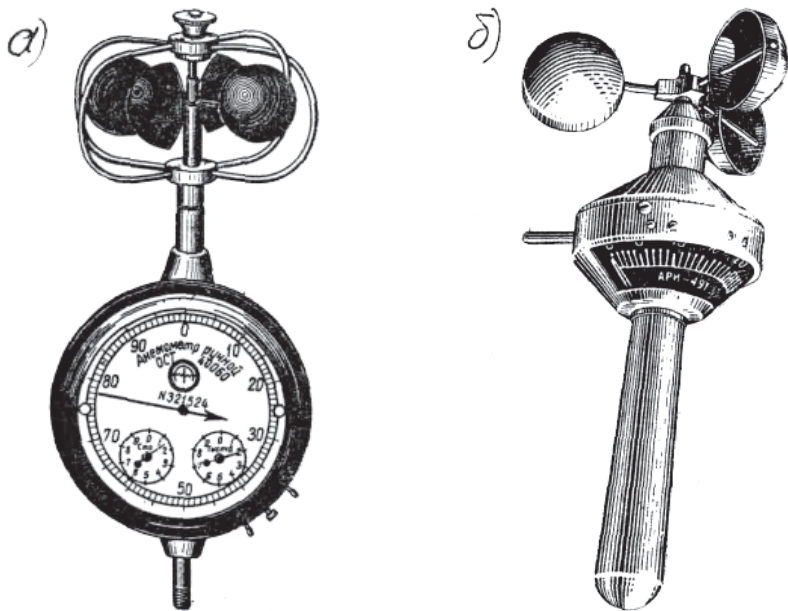


Рис. 5.4. Анеометры ручные.
 а – механический (М-13); б – индукционный (АПИ-49).

ние воздуха на чашки, обращенные выпуклой стороной к ветру, будет меньше, чем на чашки, обращенные к ветру внутренней стороной. Крестовина с полушариями защищена от механических повреждений двумя перекрещивающимися рамками из толстой проволоки. Верхний и нижний концы оси, на которую насажена крестовина, опираются на агатовые подшипники, что способствует снижению силы трения и повышению чувствительности прибора к ветру. На нижней части оси имеется червяк, связанный с системой зубчатых колес. На осях шестерён насажены три стрелки, показывающие на циферблатах количество оборотов крестовины. На большом циферблате показываються обороты от 0 до 100, на двух маленьких циферблатах, соответственно, сотни и тысячи оборотов.

Включение и выключение счётного механизма производится арретиром. При повороте арретира по часовой стрелке червячная шестерня выходит из зацепления с червяком, и счётный механизм выключается. При повороте по часовой стрелке механизм включается. В корпусе

прибора по обе стороны арретира имеются два ушка, через которые пропускается шнур для включения и выключения механизма.

Во время измерения скорости ветра прибор держат в руке в вертикальном положении выше головы. Счётный механизм включают на 100 с, или анемометр закрепляют на деревянном шесте с помощью винта, которым заканчивается нижняя часть корпуса анемометра. В последнем случае можно измерять среднюю скорость за 10 мин.

Перед началом измерения скорости ветра записывают показания стрелок на трех циферблатах. Затем анемометр выставляют на ветер, скорость которого измеряют, дают несколько секунд на раскрутку крестовины, после чего одновременно включают счётный механизм анемометра и пускают секундомер. Выдержав требуемое время, одновременно выключают анемометр и останавливают секундомер. По разности конечных и начальных отсчётов определяют количество оборотов за время измерения, а затем по количеству оборотов крестовины за одну секунду по тарировочному свидетельству определяют скорость ветра в м/с.

Анемометр ручной индукционный АРИ-49 (рис. 5.4 б)

Анемометр предназначен для измерения мгновенной (осреднённой за 2-3 с. за счет инерции прибора) скорости ветра.

Пределы измерения скорости 2-30 м/с; цена наименьшего деления шкалы 1 м/с; начальная чувствительность 1,5 м/с; погрешность измерения $\pm (0,5 + 0,5v)$ м/с.

Чувствительным элементом является трёхчашечная вертушка. На нижнем конце оси вертушки находится жестко связанная с ней магнитная система, выполняющая роль электрического генератора, вырабатывающего электрический ток пропорционально угловой скорости вращения вертушки. Измерение тока производится стрелочным гальванометром, шкала которого проградуирована в единицах скорости ветра (м/с).

Прибор снабжен ручкой, навертываемой на резьбовую часть хвостовика, а также комплектуется специальным наконечником, навертываемым вместо ручки, при установке прибора на шесте.

6. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ИСПАРЕНИЯ

Количество жидких и твердых атмосферных осадков измеряют высотой слоя воды в мм, образованного осадками на горизонтальной (непроницаемой) поверхности. Интенсивность осадков измеряется в мм/мин.

6.1. Наблюдение за осадками

6.1.1. Измерение количества осадков

Осадкомер Третьякова 0-1. (Рис. 6.1.)

Осадкомер предназначен для сбора жидких и твердых осадков для их последующего измерения.

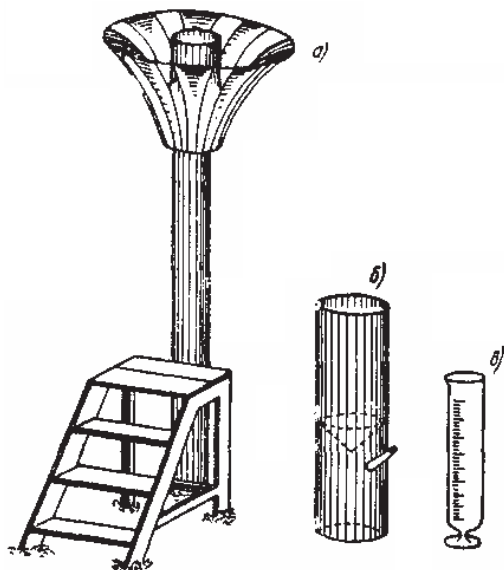


Рис. 6.1. Осадкомер Третьякова:

а) общий вид; б) осадкомерное ведро; в) измерительный стакан.

Приёмный сосуд осадкомера выполнен в виде цилиндрического ведра, перегороденного в средней его части конусообразной диафрагмой с отверстием посередине. Площадь приёмного отверстия составляет 200 см^2 . В летнее время для уменьшения испарения собранной воды в диафрагму вставляется воронка, через которую жидкие осадки поступают в нижнюю часть ведра. Для слива собранных осадков имеется носик, который при рабочем положении осадкомера закрыт съёмным колпачком. Колпачок на носике и диафрагма с вставленной в неё воронкой служат для предохранения собранных осадков от испарения, что особенно важ-

но в жаркие летние дни, когда ведро сильно нагревается. В зимнее время воронкой не пользуются.

Для уменьшения искажений показаний осадкомера вследствие, как надувания в него, так и выдувания из него твёрдых осадков (снежинок в результате завихрений воздушного потока при ветре), предусмотрена планочная защита, состоящая из 16 изогнутых металлических пластин, собранных вокруг ведра конусом.

Осадкомер устанавливается на деревянном столбе или металлической подставке так, чтобы верхний торец ведра находился на высоте 2 м над поверхностью земли (рис. 3.6). С северной стороны от осадкомера находится стремянка.

Измерение осадков производится два раза в сутки для получения количества осадков за дневную и ночную половину суток в сроки 8 и 20 ч поясного зимнего времени.

В срок наблюдения наблюдатель приносит из помещения станции пустое ведро, закрытое крышкой (во избежание попадания в него осадков) и заменяет им ведро, стоящее в осадкомере. Ведро с осадками закрывает крышкой и приносит в помещение, где производит измерение осадков. Для этого осадки сливают в измерительный стакан и по положению уровня воды относительно шкалы стакана отсчитывают число делений стакана, округляя до целых делений. Соотношение между площадью приёмного отверстия ведра, и площадью поперечного сечения мерного стакана таково, что одному делению шкалы стакана соответствует 0,1 мм осадков.

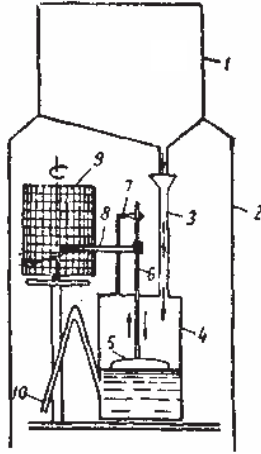
Если осадки твердые или смешанные, то измерения производят после того, как осадки растают. Сумму осадков за сутки вычисляют как сумму результатов измерений за два срока (при двухсрочных наблюдениях).

К измеренному количеству осадков прибавляются поправки, учитывающие смачивание осадкомерного сосуда и частичного их испарения: для осадков твердых в количестве более 0,5 мм поправка +0,1 мм; для жидких осадков до 0,5 мм поправка +0,1 мм, и более чем 0,5 мм поправка +0,2 мм.

Плювиограф П-2 (рис. 6.2.)

Плювиограф предназначен для регистрации количества и интенсивности жидких осадков.

В качестве приёмника осадков служит открытый цилиндрический сосуд с воспринимающей площадью 500 см². Собирающаяся в этом



*Рис. 6.2. Принципиальная схема устройства пьювиографа:
 1 – приёмный сосуд; 2 – кожух прибора; 3 – водосливная труба;
 4 – водосборный сосуд; 5 – поплавок; 6 – стержень поплавка;
 7 – держатель стержня поплавка; 8 – стрелка-перо;
 9 – вращающийся барабан; 10 – сифон.*

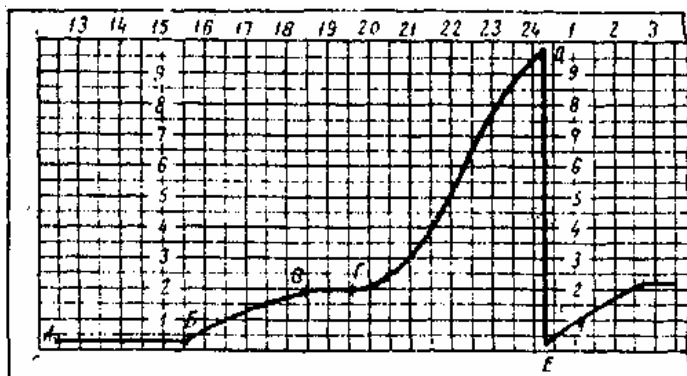
сосуде вода стекает по трубке в расположенный ниже водосборный сосуд, в котором помещён поплавок с вертикальным стержнем со стрелкой и пером на верхнем конце. Поплавок поднимается по мере накопления осадков в сосуде, и перо вычерчивает линию на диаграммной ленте, укрепленной на вращающемся барабане (с суточным оборотом).

При наполнении водосборного сосуда вода автоматически сливается через стеклянную трубку-сифон. В момент слива перо опускается по отвесной линии на нулевую отметку графика. (Рис. 6.3).

Наблюдения за росой

На метеорологических станциях определяют время появления росы, количество выпавшей росы в мм слоя воды, моменты достижения максимального значения и исчезновения.

Эти характеристики получают с помощью самописца росы – (росографа). Росограф основан на принципе взвешивания росы, выпавшей на приёмную поверхность. Измерительным прибором являются весы. Росограф размещен в стандартном корпусе, как термограф и другие самописцы.



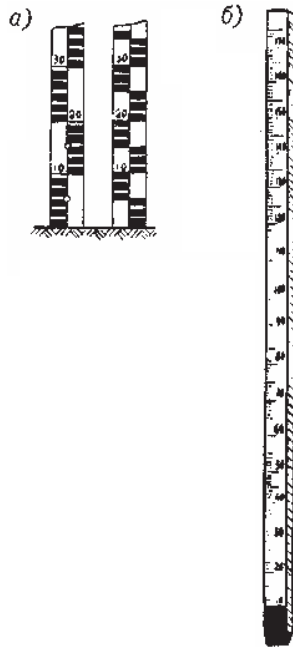
*Рис. 6.3. Образец записи плувиографа:
 АБ – дождя не было; БВ – шёл слабый дождь;
 ВГ – дождь прекратился; ГД – шёл сильный дождь;
 ДЕ – слив воды с водосборного сосуда.*

6.1.2. Наблюдения за снежным покровом

Наблюдения за снежным покровом состоят из ежедневных наблюдений за изменениями снежного покрова и периодических ландшафтно-маршрутных снегомерных съёмок для определения снегонакопления и запаса воды в снеге на элементах природного ландшафта.

Ежедневные наблюдения ведутся с момента образования снежного покрова до его исчезновения. При этом определяют: степень покрытия снежным покровом земли и характер его залегания визуальным осмотром окрестности станции с одного и того же возвышенного места вблизи метеорологической площадки. Степень покрытия оценивают по 10-балльной шкале (0,1 часть видимой поверхности соответствует 1 баллу). Характер залегания снежного покрова: равномерный – без сугробов, неравномерный – небольшие сугробы, очень неравномерный – большие сугробы, а также состояние поверхности почвы: замёрзшая, оттаившая. Оценивается структура снега: снег свежий, пушистый, липкий, рассыпчатый и др.

Высоту снежного покрова при ежедневных наблюдениях измеряют по трём постоянным снегомерным рейкам (рис. 6.4), установленным в середине метеоплощадки в вершинах треугольника со сторонами около 10 м. Одна из реек располагается вблизи у почвенно-глубинных



*Рис. 6.4. Рейки снегомерные
а) стационарная, б) переносная.*

термометров. Отсчёты берут с точностью до 1 см. Высота снежного покрова вычисляется как средняя из отсчётов по трём рейкам.

Ежедневные наблюдения производятся в срок ближайший к 8 часам поясного декретного (зимнего) времени.

Основной целью маршрутных снегосъёмок является определение запасов воды в снежном покрове. На маршруте измеряют высоту снежного покрова и плотность снега. Съёмки производятся на основных формах ландшафта, характерных для окружающей местности: поле, лес, овраги, лога и др. Длина полевого маршрута 2000 или 1000 м. Маршруты, располагаются на расстоянии не более 5 км от станции.

В лесостепной зоне с всхолмлённым рельефом длину маршрута принимают 2000 м. На таком маршруте высота снежного покрова измеряется через каждые 20 м, а плотность снега – через 200 м. В лесных районах и в местности с ровным рельефом, на небольших полях, распо-

лагающихся среди лесов, длина маршрута 1000 м. На таком маршруте высоту снежного покрова измеряют через 20 м, а плотность снега – через 100 м.

Обычно маршрутные снегосъёмки производят еженедельно, а в период максимума снегозапасов и снеготаяния – 1 раз в 5 дней.

Высоту снежного покрова при снегомерных съёмках измеряют переносной снегомерной рейкой (рис.6.4 - б), плотность снега – весовым снегомером (рис.6.5).

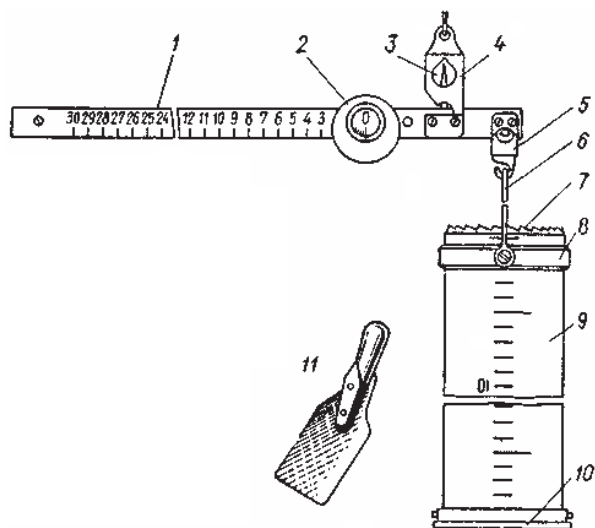


Рис. 6.5. Снегомер весовой ВС-43.

1 – рейка коромысла, 2 – передвижной груз, 3 – стрелка, 4 – подвес, 5 – крюк, 6 – дужка, 7 – утолщение с режущей кромкой, 8 – передвижное кольцо, 9 – цилиндр, 10 – крышка, 11 – лопаточка.

Снегомер состоит из снегозаборника, весов и лопатки. Снегозаборник выполнен в виде металлического цилиндра 9, который с одного конца закрывается крышкой 10, а с другого оканчивается кольцевым утолщением 7 с пилообразной режущей кромкой. Вдоль цилиндра нанесена шкала от 0 до 50 см. Высота цилиндра 60 см, площадь внутреннего поперечного сечения 50 см². На цилиндре находится подвижное кольцо 8 с дужкой 6 для подвешивания к весам.

Для взятия пробы снегозаборник со снятой крышкой погружают режущей кромкой в снег до соприкосновения с поверхностью почвы (при снежном покрове до 60 см) и отсчитывают высоту снежного покрова по шкале цилиндра. Лопаткой удаляют лишний снег и взвешивают на весах.

Плотность снега ρ_c определяют, как отношение массы пробы снега к объему пробы, г/см³.

Общий запас воды в снежном покрове:

$$W = W_c + W_{cb} + W_b + W_k, \text{ мм}$$

где W_c , W_{cb} , W_b , W_k - соответственно: запас воды в слое снега; запас воды в слое снега, насыщенного водой; запас воды в слое талой воды; запас воды в ледяной корке.

Для измерения запасов воды в снежном покрове находят применение также метод с использованием радиоактивных изотопов. Этот метод основан на ослаблении потока гамма – лучей снежным покровом от источника, расположенного на поверхности почвы под снегом. Используются зависимость:

$$J = J_0 \cdot e^{-\ell\mu},$$

где J_0 и J -соответственно интенсивность излучения при отсутствии слоя воды и при наличии слоя воды;

e - основание натурального логарифма;

μ - коэффициент ослабления излучения;

ℓ - толщина слоя воды или запас воды в снеге, выраженная в см.

Запас воды в снежном покрове определяется по формуле:

$$\ell = \frac{1}{0,4343\mu} \lg \frac{J_0}{J},$$

В качестве источника радиации берётся радиоактивное вещество с периодом полураспада не менее нескольких лет, обычно изотоп Co^{60} . Измерение излучения производится специальными счетчиками.

На таком принципе работает измеритель запаса воды в снежном покрове М-31М. У этого прибора имеется металлическая трубчатая снегомерная рейка, длина которой позволяет производить измерения при высоте снежного покрова до 2,5 м. В нижнем заострённом конце рейки находится изотоп Co^{60} , а в верхней части на консоли укреплен счётчик гамма-квантов. Шкала измерительного прибора имеет градуировку в см слоя воды, содержащейся в снежном покрове.

6.1.3. Наблюдения за гололёдно-изморозевыми отложениями

К гололёдно-изморозевым отложениям относятся отложения льда (стекловидного, кристаллического, снеговидного) на поверхности сооружений, ветках деревьев, проводах. Эти отложения, часто сопровождаемые сильными ветрами, могут приводить к обрыву проводов, поломке опор и других сооружений.

На метеорологических станциях определяются следующие характеристики гололёдно-изморозевых отложений: вид гололёдно-изморозевого отложения; продолжительность обледенения (время начала и окончания явления); размеры отложения на проводе; масса отложения на одном метре провода; ход развития процесса гололёдно-изморозевого отложения.

Наблюдения проводятся на гололёдном станке (рис.6.6), расположенном в северной части метеоплощадки. Станок состоит из трех стоек 3 с укрепленными на них двумя парами проводов 1, которые служат приёмниками отложений льда. В плане стойки образуют прямой угол, одна сторона которого направлена с севера на юг (меридиональная), а

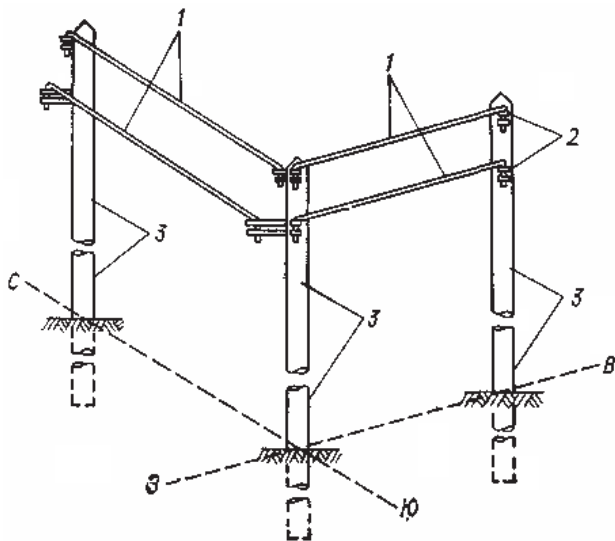


Рис. 6.6. Гололёдный станок.
1 – провода; 2 – скобы; 3 – столбы.

другая – с запада на восток (широтная). Провода длиной 90 см, диаметром 5 мм. При высоте снежного покрова до 50 см нижние провода находятся на высоте 190 см, а верхние – на высоте 220 см над поверхностью почвы. При большей высоте снежного покрова соответственно и большая высота подвески проводов.

Нижние провода при наблюдении не снимаются, на них измеряют поперечные размеры отложения. Верхние провода снимаются для определения массы отложения. Для этой цели на верхний провод надевают специальную ванну (рис.6.7), закрывают её и вместе с проводом переносят в помещение. Вместо снятого провода устанавливают запасной. Массу отложения на участке провода длиной 25 см (длина ванны 25 см), оказавшегося в ванне, определяют после таяния с помощью измерительного стакана в см^3 . Масса отложения в граммах численно равна объёму в см^3 . Затем, умножением на 4, определяют массу отложения, приходящуюся на 1 м длины провода.

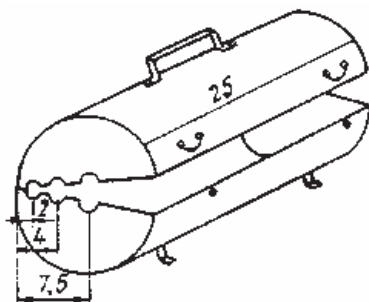


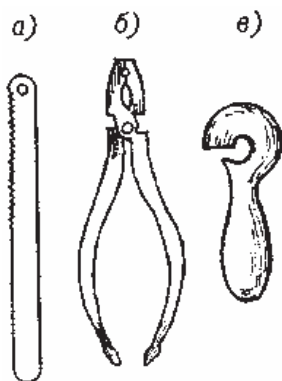
Рис. 6.7. Ванна для оттаивания гололёдного отложения.

Размеры отложения и массу определяют после прекращения нарастания отложения. Наблюдения проводят каждые два часа.

Для очистки проводов используются инструменты, показанные на рис.6.8.

6.2. Измерение испарения

Определение количества воды, испаряющейся с поверхности водоемов и почвы, необходимо для решения многих научных и практических задач: для воднобалансовых расчётов, для проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем, водохранилищ и др.



*Рис.6.8. Инструменты для очистки провода.
а — пила, б — щипцы, в — скребок.*

Испарение выражается в миллиметрах высоты слоя испарившейся воды и определяется с точностью до 0,1 мм. Измеряют испарение только в теплую часть года. Установки для измерения испарения называются испарителями или испаромерами. Наибольшее распространение получили установки, основанные на использовании уравнения водного баланса. В комплект таких установок входят испаритель и дождемер.

Примером такого рода испарительных устройств является испаромер ГГИ-3000 (ГГИ - Государственный гидрологический институт).

Испаритель, входящий в комплект этой установки, представляет собой цилиндрический бак диаметром 616 мм и площадью 3000 см², в центре которого имеется латунная трубка и игла.

Изменение уровня воды в испарителе измеряется с помощью бюретки, имеющей площадь поперечного сечения 20 см², и измерительной стеклянной колбы с ценой деления шкалы 0,1 мм слоя воды в испарителе (рис. 6.9).

Наблюдения производят в 7 и 19 ч. В утренний срок в бак наливают воду до уровня, на котором находится острие иглы. Затем бюретку стерженьком вставляют до упора в трубку испарителя. После того, как уровень воды в испарителе и бюретке станет одинаковым, поворотом винта закрывают клапан, через который вода поступала в бюретку. Бюретку извлекают из испарителя, выливают воду из бюретки в измери-

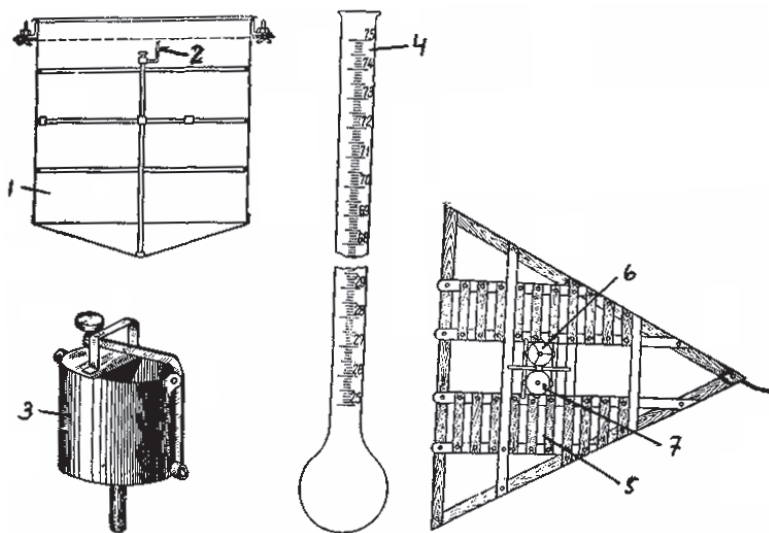


Рис. 6.9. Плавающий испаритель ГГИ.
 1-бак; 2-игла; 3-бюретка; 4-измерительная колба; 5-плотик;
 6-испаритель; 7- осадкомер.

тельную колбу и берут отсчет. В следующий срок (19 ч) производят вторичное измерение и вычисляют изменение уровня воды в испарителе за промежуток времени между сроками (12 ч).

Одновременно с измерениями, испарителем проводится измерение осадков дождемером ГГИ-3000, установленным рядом с испарителем. Осадкомер выполнен в виде цилиндрического бака, в который вставляется воронка с приёмной площадью, как и испаритель, 3000 см². Под воронкой находится ведро для сбора осадков, количество которых определяется измерительным стаканом.

Испарение за промежуток времени между сроками вычисляется по формуле:

$$Z = \Delta h + X ,$$

где Z – слой испарившейся воды, мм; Δh – изменение уровня вода за время между сроками, мм; X - количество осадков за тот же промежуток времени, мм.

Для производства наблюдений на суше испаритель и дождемер располагаются в ямах так, чтобы поверхности воды в испарителе и почвы были на одном уровне.

Для измерения испарения на водоемах испаритель и дождемер устанавливаются на плотике (рис.6.9). При этом поверхность воды в испарителе и водоёме должны находиться на одном уровне. Для измерения испарения с почвы применяются почвенные испарители в комплекте с дождемером. Например, испаритель ГР-15 состоит из двух цилиндров – наружного высотой 50 или 100 см, и внутреннего, в котором размещается почвенный монолит с растительным покровом. Площадь испаряющей поверхности 500 см². Под монолитом имеется дно с отверстиями, через которые осадки, просочившиеся через монолит, поступают в водосборный сосуд. Количество просочившейся воды измеряется измерительным стаканом. В сроки наблюдений взвешиванием определяется масса монолита с цилиндром. Одновременно проводится измерение количества осадков.

Испарение определяется по формуле:

$$Z = 0,02 (P_1 - P_2) + X + V,$$

где P_1 и P_2 – масса испарителя, соответственно, в предыдущий и текущий сроки, г; X – количество осадков, измеренных с помощью дождемера, мм; V – количество осадков, просочившихся через почвенный монолит в водосборный сосуд, мм.

На специализированных станциях применяются гидравлические испарители, с помощью которых измеряется испарение из больших монолитов почвы с естественным растительным покровом. Взвешивание производится посредством гидравлических весов, составляющих одно целое с испарителем. Такие испарители имеют устройство для непрерывной регистрации испарения с высокой точностью.

7. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ОБЛАКАМИ

Характеристика облачности нужна синоптикам для получения данных о текущей погоде для прогностических целей, а также при обслуживании авиации. На метеорологических станциях определяют: количество облаков, формы облаков и высоту нижней границы. Количество и форму облаков определяют визуально, а высоту – инструментально.

7.1. Определение форм и количества облаков

Количество облаков (облачность) оценивают в баллах суммарной долей небосвода, занятой облаками. Один балл составляет 0,1 часть всего видимого небосвода. Количество облаков менее одного балла отмечают как “следы”. При наблюдении оценивается общее количество облаков всех ярусов (общая облачность), и количество облаков только нижнего яруса (нижняя облачность).

При определении форм облаков пользуются международной морфологической классификацией, приведённой в Атласе облаков (издание 1976 г). По Атласу облаков определяют форму, вид и разновидности облаков.

Пример записи: 0/0 – ясно; 8/0 Ci – облаков нижнего яруса нет; 8/3 Ci, Cu – общая облачность 8 баллов, облачность нижнего яруса, представленная облаками Cu, 3 балла; 10/10 Ns – общая облачность и облачность нижнего яруса 10 баллов.

7.2. Измерение высоты нижней границы облаков

Под высотой облаков понимают высоту их нижней границы над поверхностью земли. В основном измеряют высоту облаков нижнего и среднего ярусов (не выше 2500 м). При этом определяется высота самых низких облаков.

В настоящее время на метеорологических станциях преобладающим, а при обслуживании авиации основным методом измерения высоты нижней границы облаков, является светолокационный метод. В этом методе высота облаков определяется по времени прохождения светом расстояния от датчика светового импульса до нижней границы облаков и обратно до приёмника:

$$H = \frac{c \cdot \tau}{2},$$

где c - скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с); τ – время.

Этот метод реализуется в импульсном измерителе высоты облаков ИВО-1М. Установка состоит из датчика и приёмника световых импульсов, пульта управления, соединительных кабелей (рис.7.1). Датчик посылает вертикально к облаку световой импульс. Приёмник с помощью фотоэлектронного умножителя преобразует отраженный от облака световой импульс в электрический сигнал и передаёт его на пульт управления.

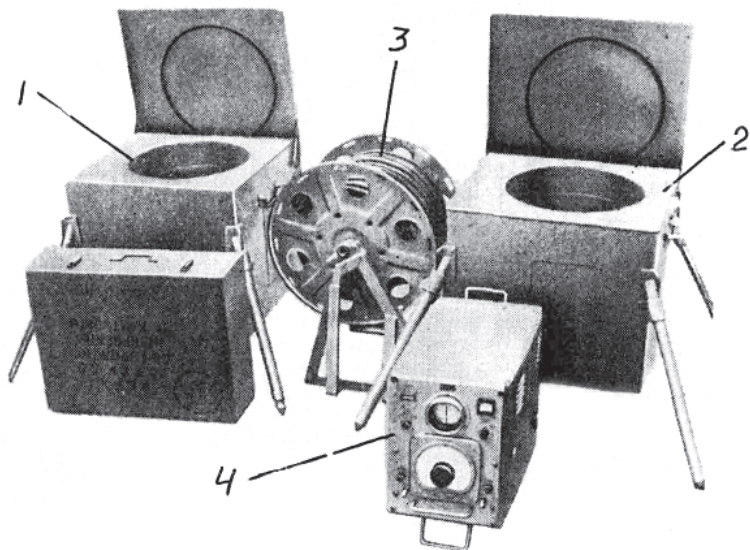


Рис. 7.1. Комплект измерителя высоты нижней границы облаков ИВО-1М.

1-датчик световых импульсов; 2-приёмник импульсов; 3-кабели.; 4-пульт управления.

Определение времени Φ производится на экране электронно-лучевой трубки, результат получается в метрах высоты. Частота посылки импульсов 20 гц.

Излучатель и приёмник смонтированы на карданных подвесах, что обеспечивает самоустановку их оптических осей в вертикальном положении. Все операции по включению, открытию крышек датчика и приёмника на время измерения и их закрытие по окончании измерения осуществляется дистанционно с пульта управления. База между датчиком и приемником составляет 8-10 м. Измерения могут производиться в любое время суток и при любой температуре воздуха.

Пределы измерения от 50 до 2000 м, погрешность измерений 10-15 %. Время, затрачиваемое на одно измерение 4-5 с. Наружная аппаратура рассчитана на работу при температуре от -50 до +50°C. Пульт находится в помещении на расстоянии от приёмопередатчика до 100 м. С помощью дополнительных блоков дистанционность может быть уве-

личена до 10 км, а также возможна непрерывная регистрация высоты облаков. Такие устройства находят применение при обслуживании авиации, когда на подходах к взлётно-посадочной полосе и на ней самой установлены приёмопередатчики в нескольких точках, объединённых в единую систему непрерывного наблюдения за высотой облаков.

В некоторых случаях при отсутствии установки ИВО определение высоты нижней границы облаков может выполняться шар-пилотным или триангуляционным методами, которые до внедрения системы ИВО имели широкое применение.

Шар-пилот представляет собой небольшой резиновый шар, наполняемый водородом. Перед пуском шара с помощью гирь измеряют его подъёмную силу и по формуле определяют скорость подъёма, м/мин. Наблюдая за летящим шаром-пилотом в бинокль, определяют по секундомеру время от момента выпуска до момента, когда шар войдёт в облако (начнет туманиться). Высота нижней границы облаков: $H = V \cdot \phi$, где V – вертикальная скорость шар-пилота, м/мин; ϕ – время, мин.

В тёмное время суток к шару на шнурке прикрепляется лёгкий источник света – (фонарь со свечкой или лампочка с батарейкой).

Недостатком метода являются трудоёмкость подготовки к измерениям, ограниченность применения при облачности менее 5 баллов, когда шар может уйти в просветы между облаками.

В тёмное время суток определение высоты нижней границы облаков может осуществляться триангуляционным методом с использованием прожекторной установки ПИ-45-1, дающей сильный узконаправленный пучок света. Луч прожектора направляется строго вертикально, а с помощью угломерного устройства, установленного на расстоянии S от прожектора, измеряют вертикальный угол β , под которым виден центр светового пятна на облаке от луча прожектора. Высота определяется по формуле: $H = S \cdot \text{tg } \beta$.

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ (МДВ)

Метеорологическая дальность видимости в светлое время суток – это наибольшее расстояние, с которого можно обнаружить на фоне неба вблизи горизонта или на фоне воздушной дымки чёрный предмет с угловыми размерами более 15 угловых минут. МДВ зависит от прозрачности воздуха.

На метеорологических станциях должно обеспечиваться измерение МДВ в пределах от 50 м до 50 км. Для определения МДВ применяются: визуальный, инструментально-визуальный и инструментальный методы, в основе которых находятся принципы фотометрии. Первым двум методам присущи субъективные погрешности, зависящие от опыта и зрения наблюдателя. Третий метод является объективным.

Для определения МДВ визуальным методом в светлое время суток подбирают девять объектов, удаленных от пункта наблюдений на расстояния 50, 200, 500 м; 1, 2, 4, 10, 20 и 50 км. Объекты должны быть по возможности более темными, проектироваться на фоне неба вблизи горизонта, иметь угловые размеры не менее 15 угловых минут.

Наблюдение состоит в том, чтобы определить, какие из объектов видимы, и какие – не видимы. Результаты оцениваются по 9-и балльной шкале. В темное время суток МДВ определяют по огням на разных расстояниях.

В настоящее время наиболее распространенным методом измерения МДВ на сети метеорологических станций является инструментально-визуальный. Этот метод положен в основу измерителей дальности видимости М-53А и ИДВ. Действие М-53А основано на оптическом раздвоении изображения наблюдаемого объекта с последующим приведением к равенству яркости этих изображений, или с последующим гашением одного из них, что достигается использованием поляризационного эффекта.

В темное время суток для измерения МДВ применяется нефелометрическая установка М-71, представляющая собой прожектор в сочетании с поляризационным измерителем видимости М-53А. Метод измерения с помощью этой установки основан на зависимости между МДВ и яркостью света, рассеянного воздухом назад к источнику света. Чем сильнее замутнена атмосфера, тем меньше дальность видимости и тем больше света рассеивается по всем направлениям, в том числе и назад – в сторону источника. Измерив яркость рассеянного назад света, можно определить МДВ. Измерение производится поляризационным измерителем видимости М-53А. Пределы измерения от 50 м до 50 км с погрешностью $\pm 25-30\%$.

Объективные результаты измерений МДВ, лишённые субъективных погрешностей, получают применением инструментальных методов, основанных на принципах: физического (объективного) фотометрирования. Примером реализации такого принципа являются регистраторы дальности видимости РДВ-1, РДВ-2, РДВ-3 и др. Работа этих устройств

основана на сравнении интенсивности двух световых потоков, исходящих от одного источника света, один из которых попадает на фотозаэлемент после прохождения им некоторого слоя атмосферы, второй, контрольный, попадает на фотозаэлемент непосредственно от того же источника света, не подвергаясь воздействию атмосферы. Установка состоит из фотометрического блока и отражателя, расстояние между ними 100 м. Такие устройства позволяющие выполнять непрерывные измерения МДВ с регистрацией в виде записи, находят применение на аэродромах при метеорологическом обслуживании авиации.

9. АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И НАБЛЮДЕНИЯ

9.1. Основные актинометрические характеристики

Актинометрия— это раздел метеорологии, занимающийся измерениями лучистой энергии Солнца, земной поверхности, атмосферы.

На земную поверхность солнечная радиация поступает в виде прямой и рассеянной.

Прямая солнечная радиация поступает от диска Солнца и около-солнечной зоны неба радиусом 5° .

Интенсивность прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность равна:

$$S' = S \cdot \sin h_\odot, \text{ кВт/м}^2$$

где S – интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность, кВт/м²; h_\odot – высота Солнца.

Рассеянная солнечная радиация – радиация, поступающая от всех точек небосвода, за исключением диска Солнца и околосолнечной зоны неба радиусом 5° .

Интенсивность суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность определяется по формуле:

$$Q = S' + D, \text{ кВт/м}^2,$$

где S' и D – соответственно, прямая и рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность.

Альbedo – это отношение отражённой от поверхности коротковолновой радиации R_k к приходящей суммарной Q . Выражается в долях единицы или в процентах.

Радиационный баланс подстилающей поверхности – это разность между всей приходящей и уходящей радиации:

$$B = S' + D + E_a - R_k - E_z = Q - R_k - E_{эф}, \text{ кВт/м}^2$$

где E_a – интенсивность встречного длинноволнового излучения атмосферы;

E_z – интенсивность длинноволнового излучения подстилающей поверхности;

$E_z - E_a = E_{эф}$ – интенсивность эффективного излучения подстилающей поверхности.

9.2. Приборы для измерения лучистой энергии

Основными актинометрическими приборами являются: актинометр, пиранометр (альбедометр), балансомер. Все эти приборы основаны на общем принципе. Лучистая энергия, поглощённая чувствительным элементом (обычно зачернённая пластинка), преобразуется в тепловую энергию с последующим преобразованием посредством термопары в электрическую энергию (ЭДС), измеряемую гальванометром. В итоге об интенсивности лучистой энергии судят по величине отклонения стрелки гальванометра. Эти приборы являются относительными, и их тарирование производится по показаниям компенсационного пиргелиометра Онгстрема, принятого в нашей стране в качестве образцового.

9.2.1. Приборы для измерения прямой солнечной радиации.

Актинометр АТ-50

Актинометр предназначен для измерения интенсивности прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность. На рис. 9.1 показан общий вид термоэлектрического актинометра. В колпаке трубки 7 находится приёмник радиации, выполненный в виде диска диаметром 11 мм из серебряной фольги, зачернённой со стороны, обращённой к Солнцу. К диску с обратной стороны приклеены активные спаи термопары. Под воздействием поглощённой солнечной радиации температура зачернённого диска и активных спаев термопары повышается по сравнению с температурой пассивных спаев, укрепленных на корпусе, и, следовательно, имеющих температуру наружного воздуха. Возникающий термоэлектрический ток, пропорциональный разности температур активных и пассивных спаев, измеряется гальванометром.

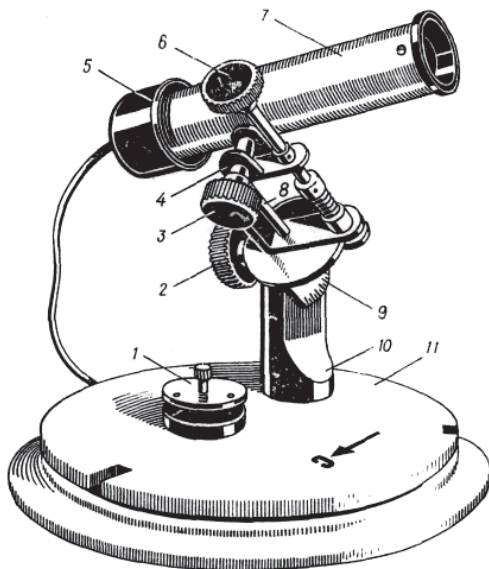


Рис. 9.1. Актинометр термоэлектрический АТ-50
 1 — крышка; 2, 3 — винты; 4 — ось склонений; 5 — экран;
 6 — рукоятка; 7 — трубка; 8 — ось мира; 9 — сектор широт;
 10 — стойка; 11 — основание.

Внутри трубки 7 имеются диафрагмы, которые выделяют пучок солнечных лучей с углом 10° так, что зачернённый диск воспринимает радиацию от солнечного диска и околосолнечной зоны неба радиусом 5° , как это дано в вышеприведённом определении прямой солнечной радиации.

При установке прибора для наблюдений его ориентируют стрелкой на основании 11 на север. Затем, ослабив винт 2, устанавливают сектор широт 9 соответственно широте места наблюдений. Ослабив винт 3 и, вращая рукоятку 6, нацеливают трубку 7 на Солнце. Ось 8 и рукоятка 6 ориентированы по оси мира, и поэтому вращением рукоятки 6 можно вести трубку за Солнцем.

При точном наведении трубки на Солнце световое пятно, образующееся при прохождении солнечных лучей через отверстие (диаметром 1 мм) на переднем кольце трубки 7, попадает точно на точку, обозначенную на кольцевом экране 5.

Перед началом измерений определяется место нуля гальванометра. Для этого на трубку 7 надевают крышку 1 и через 25 сек. берут отсчёт по шкале гальванометра.

Далее при снятой крышке уточняют наводку трубки на Солнце и берут (обычно два) отсчёты по шкале гальванометра.

Внесением поправок вычисляют исправленный отсчёт по шкале гальванометра:
$$N_{\text{исп.}} = N_{\text{ср}} \pm \Delta N - N_0 \pm \Delta N_t$$
 где $N_{\text{ср}}$ – средний отсчёт; ΔN – шкаловая поправка; N_0 – место нуля; ΔN_t – поправка на температуру гальванометра. Поправки берутся из поверочного свидетельства.

Интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность определяется:
$$S = a \cdot N_{\text{исп.}}$$
 где a – переводной множитель (из поверочного свидетельства) показывающий величину прямой радиации, приходящейся на одно деление шкалы гальванометра.

Чувствительность актинометра АТ-50 составляет 8-11 мВ на 1 кВт/м²; инерция 25 с. Актинометр рассчитан на работу при температуре окружающего воздуха от -60 до +60°С.

9.2.2. Приборы для измерения суммарной, рассеянной и отраженной радиации

Пиранометр универсальный М- 80

Пиранометр предназначен для измерения интенсивности суммарной, рассеянной и отражённой коротковолновой радиации. Общий вид прибора показан на рис. 9.2. Основной частью прибора является пиранометрическая головка 1, в которой находится приёмник радиации в виде пластинки с чёрными и белыми полями наподобии шахматной доски. С обратной стороны пластинки к чёрным и белым полям приклеены спайи термобатарей.

Термоэлектрический приёмник закрыт стеклянным колпаком, который являясь защитой от ветра и пыли, выполняет роль фильтра, препятствующим поступлению длинноволновой радиации, и пропускающим коротковолновую радиацию от 0,33 до 3,0 мкм. Чёрные и белые поля по разному поглощают поступающую лучистую энергию, и соответственно этому, чёрные поля приобретают более высокую температуру, чем белые. В результате, между чёрными и белыми спаями термобатарей образуется электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная интенсивности радиации. ЭДС измеряется гальванометром.

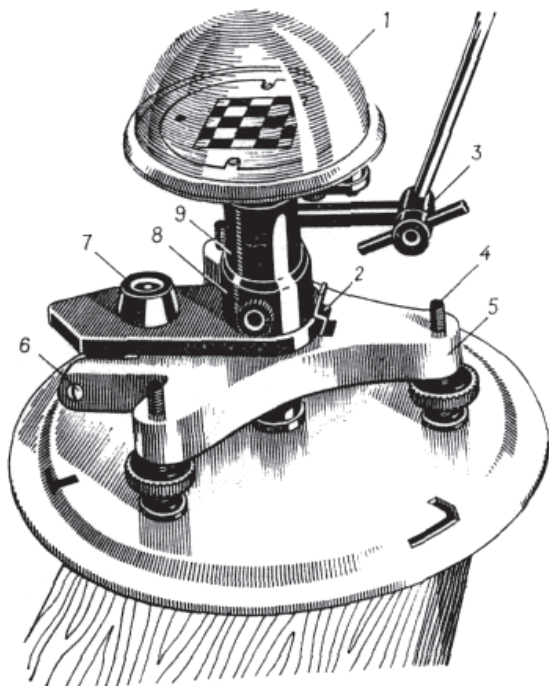


Рис. 9.2. Пиранометр термоэлектрический универсальный М-80М.
 1 — головка М-115М; 2 — стопорная пружина; 3 — шарнир затенителя; 4 — установочный винт; 5 — основание; 6 — шарнир откидного штатива; 7 — уровень; 8 — винт; 9 — стойка с осушителем внутри.

Пиранометрическая головка устанавливается горизонтально по уровню с помощью винтов 4.

Для измерения рассеянной солнечной радиации исключают прямую солнечную радиацию затенением термоприёмника. Затенитель — это диск диаметром 85 мм, укрепленный на стержне длиной 485 мм так, что образуемый диском телесный угол составляет 10° .

Суммарную радиацию измеряют при незатенённом приёмнике радиации.

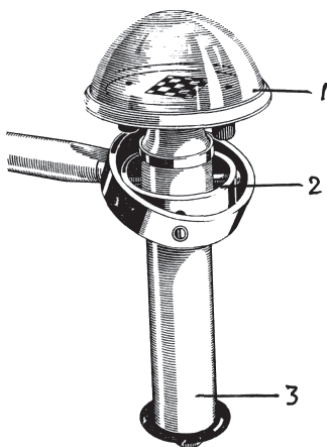
Для измерения радиации, отраженной от подстилающей поверхности головку пиранометра поворачивают вниз. При этом поверхность

приёмника должна находиться на высоте 1,5 м над подстилающей поверхностью, а наклон самой подстилающей поверхности не должен превышать 2° .

Чувствительность головки пиранометра составляет 10-16 мв на 1 кВт/м^2 . Инерция –40с. Головка рассчитана на работу при температуре от -60 до $+60^\circ\text{C}$.

Походный альбедометр АПЗхЗ (Рис.9.3)

Предназначен для измерения тех же актинометрических характеристик, что и пиранометр М-80, имеет такую же пиранометрическую головку, но установленную на самоустанавливающемся карданном подвесе, обеспечивающим горизонтальное положение плоскости приёмника, как при положении вверх, так и вниз.



*Рис. 9.3. Альбедометр походный.
1-пиранометрическая головка; 2-карданный подвес;
3-противовес.*

Для измерения рассеянной солнечной радиации применяется диск-затенитель.

Перед началом измерений пиранометрическую головку закрывают металлическим колпаком и определяют место нуля по шкале гальванометра.

Во время измерений (колпак убран) берут три отсчёта по шкале гальванометра.

Определяют исправленный отсчёт:

$$N_{\text{исп.}} = N_{\text{ср}} \pm \text{ДН} - N_0,$$

где $N_{\text{ср}}$ – средний из трёх отсчётов; ДН – шкаловая поправка из поверочного свидетельства; N_0 – место нуля.

Интенсивность измеряемой радиации определяется по формуле:

$$D, Q, R_k = a_n \cdot N_{\text{исп.}},$$

где a_n – нормальный переводной множитель, который определён при перпендикулярном положении лучей (принимается из поверочного свидетельства).

Интенсивность прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность S' может быть вычислена по разности показаний открытого (Q) и затенённого (D) и пиранометра (альбедометра).

9.2.3. Измерение радиационного баланса подстилающей поверхности

Балансомер М-10М (рис.9.4)

Балансомер представляет собой круглую плоскую пластину 1 диаметром 100 мм с двумя чёрными приёмниками радиации 2 на противоположных сторонах, отмеченных № 1 и № 2.

При измерении один приёмник обращён к подстилающей поверхности (внизу) и на него поступают коротковолновая отражённая радиация R_k , длинноволновое излучение подстилающей поверхности E_3 вместе с отражённой длинноволновой радиацией R_d , излучение окружающих предметов. Другой приёмник, обращённый вверх, получает суммарную коротковолновую солнечную радиацию $Q = S' + D$ вместе с длинноволновым излучением атмосферы E_a .

Термобатареи верхнего и нижнего приёмников соединены таким образом, что создают встречные ЭДС. Ток, возникающей в результате разности ЭДС, измеряется гальванометром. При одинаковом поступлении лучистой энергии на верхний и нижний приёмники стрелка гальванометра отклоняться не будет. Отклонение стрелки гальванометра пропорционально разности поступления энергии на верхний и нижний приёмники, т.е. радиационному балансу, который может иметь знак / + / или / - /.

Следовательно, балансомер измеряет разность

$$B = S' + D + E_a - (R_k + R_d + E_3).$$

При затенённом балансомере (диск-затенитель **12** на рис. 9.4.) исключается величина S' . Эта величина гораздо точнее вычисляется по разности показаний открытого и затенённого пиранометра (альбедометра), а тем более по показаниям актинометра.

На показания балансомера некоторое влияние оказывает ветер, способствующий конвективному теплообмену между приёмниками и воздушной средой. Это влияние учитывается коэффициентом Φ .

Перед началом измерений при отключенном балансомере и зашунтированном гальванометре определяют место нуля.

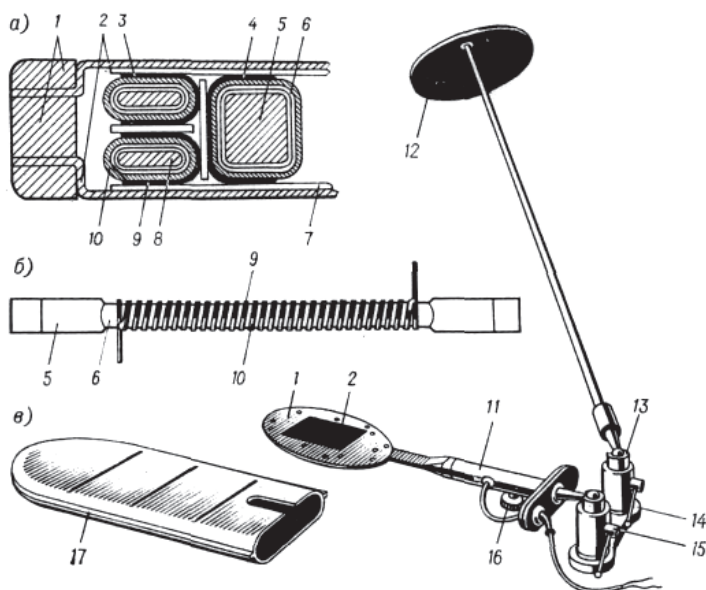


Рис. 9.4. Балансомер М-10М термоэлектрический.
 а — схематическое поперечное сечение; б — отдельная термобатарея; в — внешний вид: 1 — корпус; 2 — приёмная пластинка; 3,4 — спаи; 5 — медный брусок; 6,7 — изоляция; 8 — термобатареи; 9 — серебряный слой; 10 — константановая лента; 11 — рукоятка; 12 — теневой экран; 13,15 — шарниры; 14 — планка; 16 — винт; 17 — чехол.

Во время измерений обычно делают три отсчёта по шкале гальванометра.

Вычисляют исправленный отсчёт: $N_{исп.} = N_{ср.} \pm ДN - N_0$,
где $N_{ср.}$ - средний отсчет; $ДN$ - шкаловая поправка гальванометра (из поверочного свидетельства); N_0 - место нуля. Затем отсчёт приводят к штюлю $N_{шт} = N_{исп.} \cdot \Phi$, где Φ - коэффициент, учитывающий влияние ветра на балансомер. Радиационный баланс определяют по формуле:

$$B = a \cdot N_{шт.}$$

где a - переводной множитель (из поверочного свидетельства).

Чувствительность балансомера 5-6 мв на 1 кВт/м², инерция 12 с.

Балансомер рассчитан на температуру окружающего воздуха от -60 до +60°С.

Для проведения наблюдений приборы для измерения радиационных характеристик размещаются на актинометрической стойке. Стойки бывают различных конструкций. На рис.9.5 показан вариант неподвижной стойки.

Одновременно с измерениями актинометрическими приборами проводятся вспомогательные наблюдения, при которых оцениваются: количество и формы облаков, цвет неба в зените, степень покрытия солнечного диска облаками, состояние деятельной поверхности на актинометрической площадке (состояние травы – свежесть, цвет, степень увлажнения; состояние снежного покрова); измеряются атмосферное давление, скорость ветра вблизи балансомера, температура и влажность воздуха, температура поверхности почвы.

Актинометрические наблюдения производятся шесть раз в сутки: в 0 ч 30 мин, 6 ч 30 мин, 9 ч 30 мин, 12 ч 30 мин; 15 ч 30 мин, 18 ч 30 мин по среднему солнечному времени.

9.3.Определение продолжительности солнечного сияния

Гелиограф универсальный ГУ-1

Гелиограф предназначен для регистрации продолжительности солнечного сияния, т.е. количества часов, когда солнечный диск не закрыт облаками, а интенсивность солнечной радиации составляет не менее 0,21 кВт/м².

Принцип действия гелиографа основан на прожигании бумажной ленты солнечными лучами, сфокусированными стеклянным шаром

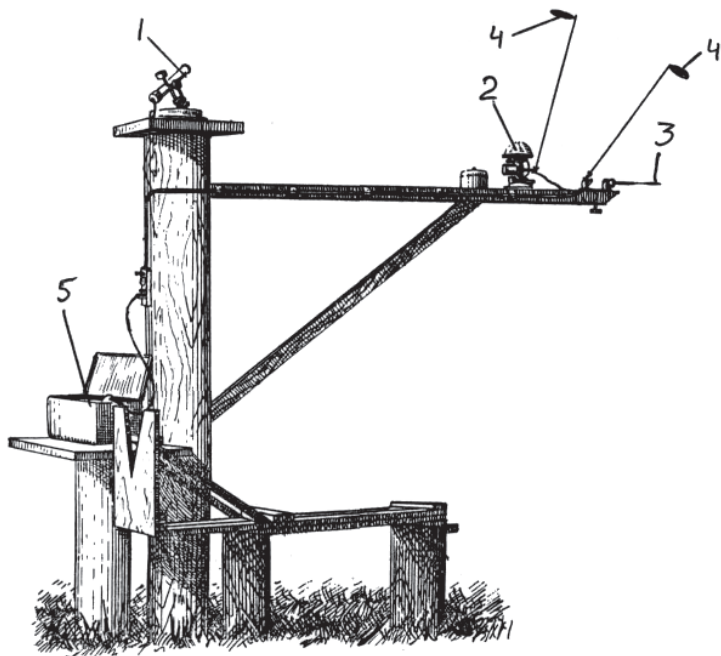


Рис. 9.5. Актинометрическая стойка (неподвижная).
 1-актинометр; 2-пиранометр; 3-балансомер; 4-затенители;
 5-гальванометры.

выполняющим роль собирающей линзы. Лента, по которой в течение дня перемещается изображение Солнца, имеет деления в часах. По длине прожжённых участков на ленте определяют время, в течение которого Солнце не было закрыто облаками, и интенсивность солнечной радиации была не менее $0,21 \text{ кВт/м}^2$.

Стеклянный шар 9 (рис.9.6-а) закреплён в дугообразном держателе 6. Наклоняя подвижную часть прибора, по шкале углового сектора 3 устанавливают широту места метеостанции и закрепляют стопорным винтом 4. При этом ось стеклянного шара принимает положение параллельное оси вращения Земли (оси мира).

Сферическая чаша 5 имеет три паза, в которые вставляются бумажные ленты. В средний паз вставляется прямая (равноденственная) лента (рис.9.6-б), в верхний паз – зимняя и в нижний паз – летняя лен-

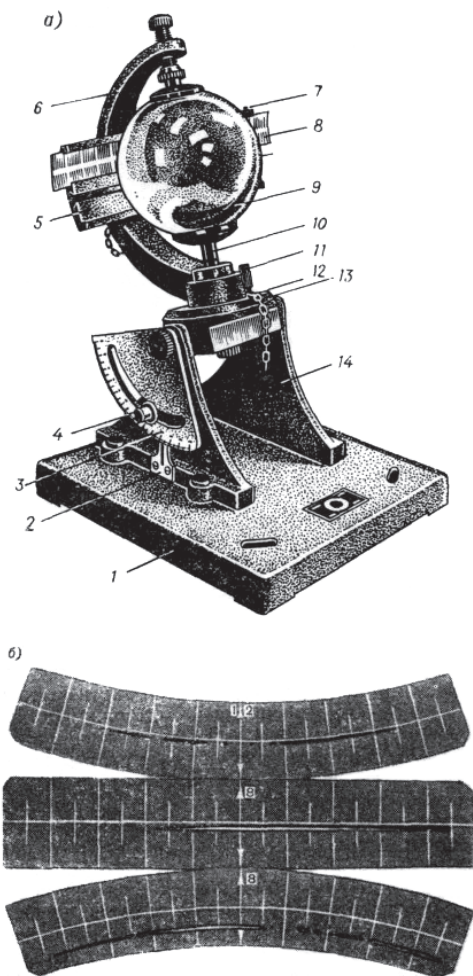


Рис. 9.6. Гелиограф полярной (универсальной) модели.
 а — внешний вид; б — ленты с прожгами: зимняя, равноденственная, летняя; 1 — основание; 2 — указатель широты; 3 — сектор широт; 4 — винт; 5 — чашка с пазами для лент; 6 — дуга (держатель); 7 — игла фиксирования ленты; 8 — лента; 9 — шар; 10 — ось; 11 — фиксирующий штифт; 12 — диск установочный; 13 — указатель; 14 — стойка.

ты. Обе последние ленты криволинейные. Положение ленты в пазе фиксируется штифтом с иглой 7.

Одна лента рассчитана на 10 часов. В зависимости от продолжительности дня используются 1, 2 или 3 ленты. При смене ленты делается поворот подвижной части гелиографа относительно оси стеклянного шара на определенные фиксированные углы, обозначенные на установочном диске 12 (рис.9.6–а) индексами А.Б.В.Г. Эти положения фиксируются штифтом 11.

На метеоплощадке гелиограф устанавливается на столбе на высоте 2 м от поверхности земли, строго горизонтально и ориентируется по географическому меридиану.

10. ДИСТАНЦИОННЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

10.1. Дистанционные и автоматические метеорологические станции

Дистанционные метеорологические станции (ДМС) представляют собой комплекс метеорологических приборов, показания которых дистанционно по кабелю передаются на приборный пульт, находящийся в помещении метеостанции. Применение ДМС позволяет ускорить и упростить процесс измерения метеорологических величин, освобождая наблюдателя от выхода, из помещения к местам установки приборов и выполнения операций непосредственно в точках измерений. Все измерения выполняются в течение 1-2 мин.

Примерами таких станций могут быть: дистанционная метеорологическая станция М-49 и судовая дистанционная гидрометеорологическая станция ГМ-6 (рис. 10.1), предназначенные для измерения температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, последняя измеряет еще и температуру воды.

Автоматические метеорологические станции (АМС) представляют собой телеметрические устройства, предназначенные для автономного (без участия человека) измерения и передачи метеорологических величин. Они являются первичным звеном в автоматизированной системе получения, сбора, хранения метеорологической информации и передачи её потребителю.

Все АМС построены на принципе преобразования измеряемых величин в электрические импульсы, которые в закодированном виде пе-

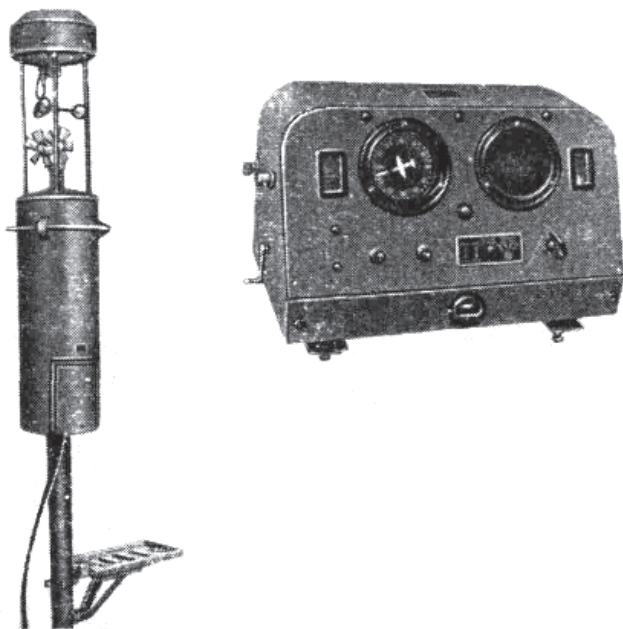


Рис. 10.1. Блок метеорологических датчиков и измерительный пульт

редаются по каналам связи. Каналами связи могут быть радио или проводная линия связи.

Автоматические радиометеорологические станции (АРМС) устанавливаются в труднодоступных или необжитых районах (высокогорье, арктические острова, дрейфующие льды). В состав АРМС входят: комплект метеорологических, а при необходимости и гидрологических, датчиков; центральное устройство, осуществляющее обработку информации, поступающей от датчиков, хранение результатов до их передачи, формирование кода; радиопередающая аппаратура; источник питания - ветрогенератор с аккумулятором (рис.10.2). Применяются так же радиоизотопные источники энергии.

В настоящее время в системе гидрометслужбы находятся в эксплуатации АМС различного назначения (для установки на суше, на водных объектах, на дрейфующих льдах), отличающиеся конструктивным исполнением, точностью и количеством измеряемых метеорологических величин.

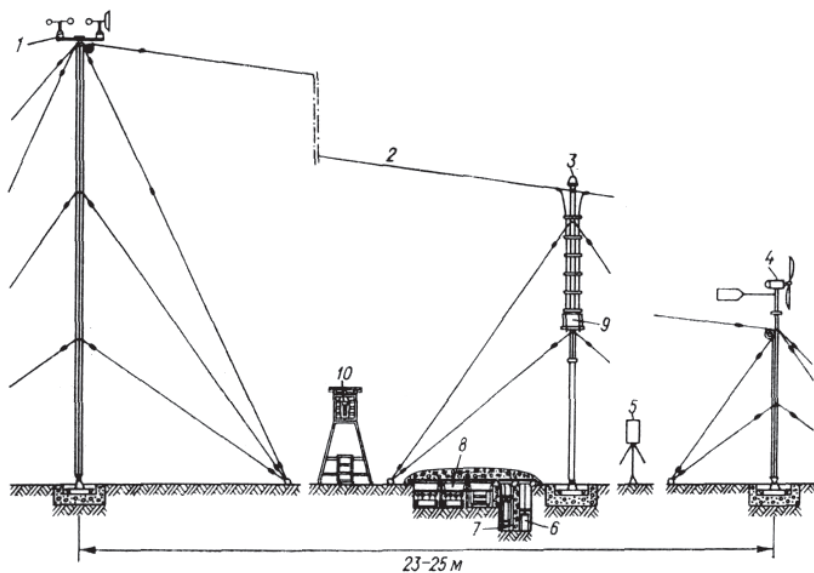


Рис.10.2. Схема размещения АРМС М-109.

1 — датчики ветра; 2 — антенна; 3 — датчик солнечного сияния; 4 - ветрогенератор; 5 — осадкомер; 6, 7 — блок автоматики и датчик давления; 8 — аккумулятор; 9 — радиопередатчик; 10 — датчик температуры..

Например, предназначенная для установки на суше АРМС модели М- 109 (рис.10.2) измеряет 10 метеовеличин с передачей через каждые 3 ч, штормовая информация передаётся через каждый час. Данные, передаваемые станцией, принимаются с помощью радиоприёмника.

Станция рассчитана на работу при температуре воздуха от -60 до +50°С, влажности до 100 %, отложений гололёда 25 мм. В автономном режиме станция может работать год. По истечении года проводится техническая инспекция, регламентные работы с контролем точности показаний приборов.

АМС модели М-106М измеряет около 20 метеорологических величин с передачей информации по проводной связи на расстояние до 10 км. Измерение всех элементов занимает около одной минуты. Станция ведёт круглосуточные наблюдения за штормовыми значениями метеовеличин.

Для обслуживания авиации в крупных аэропортах применяются комплексные радиотехнические автоматические метеорологические станции (КРАМС), позволяющие получать данные о метеорологических элементах по большому числу датчиков, распределённых на аэродроме.

10.2. Радиолокационные метеорологические наблюдения

Среди дистанционных методов изучения атмосферы к настоящему времени наибольшее развитие получила метеорологическая радиолокация. Метеорологические радиолокаторы (МРЛ) предназначены для получения информации об облачности, осадках и связанных с ними опасных явлениях погоды. МРЛ широко применяются в службах сверхкраткосрочного прогноза погоды для метеообеспечения авиации.

В основе метода использовано явление рассеивания электромагнитных волн сантиметрового и миллиметрового диапазонов частицами облаков, осадками и некоторыми другими атмосферными образованиями. МРЛ позволяет в любое время суток и при любой погоде вести непрерывные наблюдения за состоянием тропосферы, получать вертикальные и горизонтальные разрезы метеорологических объектов, определять границы облаков, измерять интенсивность осадков, оценивать тенденцию и скорость развития метеорологических процессов.

В метеорологических радиолокаторах используется диапазон несущих частот от 3000 до 30000 МГц, соответствующий длинам волн от 10 до 1 см. Длительность зондирующего импульса составляет от 0,5 до 4 мкс. Частота повторения импульсов находится в пределах от 200 до 1000 герц. Угол диаграммы направленности зондирующего луча составляет от долей до 1,5°. Дальность действия МРЛ до 80 - 120 км.

С помощью МРЛ распознаются все формы и виды облаков: С_i; С_c; С_s; А_s; А_s; S_c; N_s; S_t; C_u; C_b. Достоверность распознавания облачных систем составляет 80-90 %.

Распознаются грозоопасные С_b и ливневый дождь, негрозовые С_b и негрозовые ливни. МРЛ позволяет измерять интенсивность жидких и твёрдых осадков по градациям: слабые, умеренные, сильные, очень сильные. Распознаются слои температурных изотермий и инверсий. Зондирование атмосферы возможно до высот более 30 км.

С внедрением ЭВМ созданы автоматизированные системы для обработки информации, получаемой от МРЛ и представления её на дисплее в виде цветных карт.

10.3. Аэрологические наблюдения

Аэрология – раздел метеорологии, занимающийся изучением физических процессов в свободной атмосфере, расположенной над пограничным слоем (слоем трения).

Основным методом аэрологии является зондирование атмосферы путём измерения метеорологических характеристик приборами, доставляемыми специальными воздушными шарами на высоты 30-35 км и максимально до 40-45 км.

В настоящее время для зондирования используются радиозонды. Радиозонд – радиотехнический прибор, поднимаемый в атмосферу на свободно летящем шаре. Во время подъёма он измеряет метеорологические величины на разных высотах, и результаты измерений передает по радио на наземную станцию слежения. Метеорологические величины (температура, влажность воздуха, давление и др.) измеряются посредством чувствительных элементов (датчиков), а скорость и направление ветра на разных высотах определяют по координатам радиозонда, которые получают, наблюдая за ним в оптический теодолит или сопровождая его радиолокатором.

Зондирование атмосферы с помощью радиозондов называется радиозондированием. Различают: ветровое зондирование, цель которого состоит в определении скорости и направления ветра на разных высотах; температурное зондирование – измеряются температура, влажность воздуха, давление; температурно-ветровое зондирование – в нём совмещаются оба предыдущих вида зондирования.

Первый радиозонд в СССР был выпущен в 1930 г. Изобретателем радиозонда и метода его применения в аэрологии был П.А. Молчанов.

В результате зондирования получают данные о вертикальной стратификации измеряемых метеорологических величин.

Стандартные наблюдения на сети аэрологических станций проводятся в единые сроки два или четыре раза в сутки и включают измерения: температуры, влажности воздуха и атмосферного давления, скорости и направления ветра.

Специальные наблюдения могут включать измерения актинометрических характеристик, содержания озона, показателей загрязнения атмосферы, характеристик атмосферного электричества и др. Расстояние между сетевыми аэрологическими станциями составляет 250-300 км.

Данные сетевых аэрологических наблюдений используются в оперативной работе синоптиков при составлении прогнозов погоды, в авиации, а также – в научных целях.

В отличие от метеорологических приборов, предназначенных для измерений в наземных условиях, радиозонды должны обеспечивать требуемую точность в гораздо большем диапазоне изменений измеряемых величин. Так, перепад температуры в слое зондирования может составлять от +50 до -70°C, влажность может изменяться от 100 до 0 %, давление уменьшается в 100-200 раз (от 1000 гПа у земли до 5 гПа на высоте около 35 км). При прохождении зон жидких осадков и облаков на прибор в изобилии попадает вода, при прохождении слоёв воздуха с сильной турбулентностью зонд подвергается большим динамическим нагрузкам, при попадании в грозовые очаги возможно воздействие электрических разрядов. При этом погрешность измерений должна сохраняться в следующих пределах: для температуры $\pm 0,5^\circ\text{C}$, для влажности $\pm 5\%$, для давления ± 1 гПа.

Воздушный шар, используемый для подъёма радиозонда, представляет собой наполненную водородом или гелием оболочку. В нашей стране используются оболочки диаметром в нераздутом состоянии 10, 20, 30, 100, 150 и 200 см, обозначаемые соответственно номерами 10, 20, 30, 100, 150, 200.

При подъёме шара с уменьшением атмосферного давления оболочка сильно растягивается. Так, оболочка № 200 на предельной высоте имеет разрывной диаметр 850 см. Поэтому она должна обладать эластичностью, прочностью и сохранять эти свойства в диапазоне температур от +50 до -70°C при влажности воздуха от 100 до 0 %, при разрушающем воздействии сильного ультрафиолетового излучения Солнца. Этим требованием в достаточной степени удовлетворяет латекс (на основе синтетического каучука), из которого изготавливают оболочки.

Для подъёма радиозондов используются оболочки №№ 150 – 200, обеспечивающие подъём на высоту 30-35 км при скорости подъёма 200-300 м/мин. Зонд подвешивается к оболочке на шнуре длиной 12 м.

С 1986 г в нашей стране применяется Аэрологический информационно—вычислительный комплекс АВК-1, в состав которого входят: наземная радиолокационная станция слежения за активной мишенью (радиозонд, излучающий радиосигналы), аппаратура предполётной проверки технических характеристик радиозондов, мини- ЭВМ и радиозонды МРЗ-2 для радиовеетрового зондирования и МРЗ-3А для температурно-ветрового зондирования (измеряет температуру, влажность воздуха;

величина атмосферного давления рассчитывается по барометрической формуле). Датчиком температуры служит терморезистор, датчиком влажности – органическая пленка. Пространственные координаты зонда, необходимые для определения скорости и направления ветра, получают на основании измеренных радиолокатором: азимута, вертикального угла и наклонного расстояния от антенны локатора до радиозонда. Результаты измерений метеорологических величин радиозонд передает в закодированном виде по радио на наземную станцию. Дальность действия радиолокатора до 300 км.

Вычислительный комплекс обрабатывает поступающую от зонда информацию и выдает её в виде распечатки на бумажной ленте, на которой даётся следующая информация: температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра на уровне станции; далее, по мере подъёма зонда до 6 км, все указанные характеристики даются через каждые 200 м, на высотах более 6 км – через каждый км, а также для всех стандартных изобарических поверхностей. Даются высоты, соответствующие особым точкам, т.е. переломным точкам на графиках вертикальной стратификации, измеряемых характеристик.

Для исследовательских целей практикуется сбрасывание радиозондов на парашюте с самолетов, аэростатов.

На некоторых станциях, на временных аэродромах, в экспедициях при отсутствии радиолокатора, ветровое зондирование выполняют визуальным (оптическим) методом. Скорость и направление ветра на разных высотах определяют по траектории шара-пилота, в качестве которого используются оболочки №№ 10, 20, 30, белого, красного, чёрного цвета в зависимости от состояния неба. При однопунктном способе специальным шар-пилотным теодолитом через равные промежутки времени (0,5 – 1 мин) измеряют азимут и вертикальный угол на шар, и при известной скороподъемности шара и времени подъёма определяют его высоту, а затем и координаты. Допущение о постоянстве скорости подъёма шара может приводить к существенной погрешности. Эта погрешность исключается при засечках шара-пилота двумя теодолитами с концов базиса.

Шар-пилотный метод неприменим в облачную погоду, и даже в ясную погоду высота зондирования ограничивается 5-7 км.

10.4. Аэростатное и самолётное зондирование

Аэростатное и самолётное зондирование атмосферы являются разновидностью аэрологического зондирования и применяются, в основном, в научно-исследовательских целях.

Аэростат – летательный аппарат легче воздуха, плавающий в атмосфере, благодаря подъёмной силе, заключённого в оболочке водорода, иногда гелия. Аэростат, предназначенный для полётов в стратосфере, называется стратостатом.

Подъём измерительной аппаратуры на аэростатах с целью изучения пространственных и временных изменений значений различных метеорологических величин называется аэростатным зондированием. Аэростаты могут использоваться для подъёма научных приборов с наблюдателями и только приборов. В состав поднимаемых приборов входят: метеорограф (самописец, на одной ленте синхронно регистрирующий температуру, влажность воздуха, давление, характеристики ветра) и другие приборы в зависимости от программы исследований, например, для измерения водности облаков, для взятия облачных капель, аэрозоля и др.

Согласно программе, в определённые сроки приборы с накопленной информацией на парашютах доставляются на землю.

Для зондирования применяются свободные и привязные аэростаты. Свободные аэростаты способны дрейфовать, находясь на одном уровне в течение месяца и более (трансзонды). Трансзонд, перемещаясь с окружающим его воздухом на большие расстояния на заданной изобарической поверхности, даёт возможность изучать процесс трансформации воздушной массы на пути её адвекции. Прослеживая траекторию свободного аэростата со спутников, получают сведения о ветре на высотах, что особенно важно для изучения воздушных потоков над океанами, где аэрологические данные, получаемые с помощью радиозондов, практически отсутствуют.

В настоящее время запуски свободных аэростатов до высот 30-35 км производятся регулярно от арктических широт до Антарктиды.

В отличие от свободного аэростата, привязной аэростат имеет обтекаемую форму и удерживается на месте тросом, связывающим его с землёй. Он служит для подъёма метеорографов и других приборов на высоты в пределах слоя трения. Привязной аэростат позволяет получать сведения о состоянии атмосферы на различных уровнях, через которые он поднимается и опускается, или в одной точке атмосферы с определённым

ными координатами. Преимуществом этого метода является возможность длительных измерений на уровне подъёма измерительных приборов.

Исследования атмосферы с помощью самолетов, оборудованных измерительной аппаратурой, называется самолётным зондированием. Современный самолет–зондировщик представляет собой комплексную летающую лабораторию, оснащённую разнообразной измерительной аппаратурой, которая позволяет одновременно измерять значения большого количества параметров атмосферы, а также проводить визуальные наблюдения за атмосферными явлениями. Обработка результатов производится по мере поступления данных с помощью бортовой ЭВМ. Приборами регистрируются: температура, влажность, давление; проводятся наблюдения за облачностью, обледенением, микроструктурой облаков, водностью облаков, турбулентностью (“болтанка”), радиационно-оптические наблюдения, определяются характеристики аэрозоля и др.

В последние годы у нас и за рубежом самолёты – метеорологические лаборатории СМЛ используются главным образом для целевых исследований – для изучения микрофизики облаков, атмосферной турбулентности, строения фронтов, циклонов (в том числе – тропических). При полётах представляется возможность изучать от микро- и мезомасштабных явления в атмосфере до размеров синоптического масштаба.

Наиболее распространены следующие виды зондирования:

а) горизонтальные полёты на малых высотах, которые проводятся, например, для исследования пограничного слоя, разведки погоды, измерений загрязнения атмосферы;

б) высотные горизонтальные полёты, в которых получают данные об изменении наблюдаемых параметров на выбранном фиксированном уровне;

в) вертикальное зондирование, при котором получают данные о вертикальной стратификации различных параметров воздуха.

При вертикальном зондировании самолёт набирает высоту, перемещаясь по спирали (обычно от 0,5 до 7-9 км), делая горизонтальные площадки продолжительностью 2-3 мин с шагом по высоте от 100 до 1000 м.

Горизонтальное зондирование, в зависимости от поставленной задачи, может иметь протяжённость 1000 км и более. Полёты при изучении циклонов, в том числе тропических, проводятся по двум взаимно перпендикулярным трассам, проходящим через центр барического образования.

10.5. Ракетное зондирование

Ракетное зондирование применяется для изучения верхних слоев атмосферы, которая условно подразделяется на среднюю и верхнюю атмосферу. Первая включает в себя стратосферу и мезосферу т.е. слой от 15-20 до 80-100 км, в котором располагается большая часть озоносферы и нижней ионосферы. В верхнюю атмосферу входят термосфера и экзосфера.

Для изучения средней атмосферы используются метеорологические ракеты, поднимающиеся на высоту до 80-100 км. Они могут быть жидкостно-и твердотопливными. Основными параметрами, измеряемыми с помощью метеорологических ракет, являются: давление, температура, плотность и газовый состав воздуха. В зависимости от программы исследований могут измеряться и другие характеристики.

Для изучения верхней атмосферы применяются мощные геофизические ракеты, поднимающиеся до высот более 100-150 км. Производятся измерения интенсивности солнечного и космического излучения, оптических свойств воздуха, его термодинамических и электрических свойств, магнитного поля Земли. Наряду с ракетным зондированием, относящимся к прямым методам измерений, для изучения верхней атмосферы применяются и косвенные методы с использованием радиолокации, метеолидаров (лазерных локаторов), СВЧ, оптической техники, а также искусственных спутников Земли.

Система ракетного зондирования состоит из самой ракеты, оснащённой измерительными приборами, и наземного измерительного комплекса, под которым понимается совокупность наземных радиотехнических средств, предназначенных для приёма радиотелеметрической информации о параметрах атмосферы, так и для измерения координат ракеты во время полета. Доставка приборного контейнера на землю происходит с помощью парашюта (рис. 10.3).

10.6. Спутниковая метеорология

Спутниковая метеорология – это раздел метеорологии, в котором рассматриваются методы исследования атмосферных процессов планетарного масштаба с помощью искусственных спутников Земли ИСЗ (метеорологических спутников) специально оборудованных и выведенных на определённые орбиты. Первой задачей спутниковой метеорологии является получение информации о состоянии атмосферы у земной поверхности и в тропосфере на больших пространствах, второй задачей

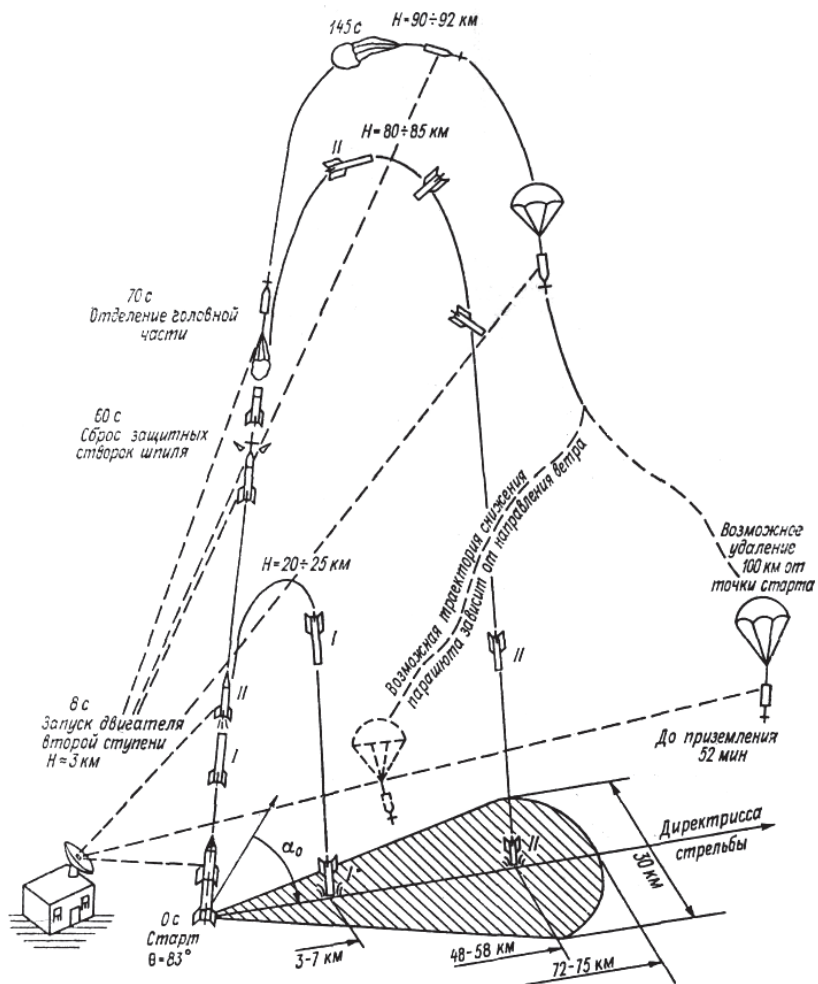


Рис. 10.3. Схема запуска метеорологической ракеты М-100Б и её траектории

– разработка методов применения этой информации для анализа атмосферных процессов, прогноза погоды и изучения климата.

Спутниковая метеорология относится к космической подсистеме получения данных о состоянии природной среды, в ней используются дистанционные методы измерений без прямого контакта с объектом изучения.

Метеорологический спутник – это искусственный спутник Земли (ИСЗ), оснащённый комплексом аппаратуры для наблюдения за атмосферой, подстилающей поверхностью, а также для накопления информации передачи её на Землю.

Применяются три вида спутников по расположению орбит относительно Земли: экваториально-орбитальные, полярно-орбитальные, наклонно-орбитальные. Экваториально-орбитальный спутник движется по орбите в плоскости экватора на высоте 35810 км, его период обращения равен периоду суточного вращения Земли.

Поэтому он находится все время над одним и тем же пунктом Земли и называется геостационарным ИСЗ. Такие спутники используются для наблюдения за облачностью и подстилающей поверхностью в глобальном масштабе.

Плоскость орбиты полярно-орбитального спутника проходит через полюсы. Обычно такие спутники находятся на высоте 800км и имеют период обращения 1,5 часа, по мере вращения Земли он способен “видеть” любую точку Земли два раза в сутки. Наклонно-орбитальные ИСЗ “обозревают” полосу земной поверхности шириной в зависимости от угла наклона плоскости орбиты. Эти разновидности ИСЗ дополняют друг друга. Информация, получаемая на спутнике, условно делится на две группы.

К первой группе относятся изображения облачности и подстилающей поверхности, получаемые обзорной аппаратурой. Обзорная аппаратура состоит из телевизионной (ТВ) и инфракрасной (ИК) систем спутника. Эти системы производят съёмку атмосферы и подстилающей поверхности, как на дневной (с помощью ТВ), так и на ночной (только ИК) стороне Земли.

Вторую группу составляют радиационные измерения. Актинометрическая или радиационная аппаратура обеспечивает измерение радиационного баланса Земля – атмосфера, температуры суши, океанов, верхней границы облаков. Посредством спектральных радиационных измерений получают сведения о вертикальной стратификации температуры, влажности воздуха и других параметров. Для спектральных изме-

рений используются многоканальные спектрометры, измеряющие радиацию в нескольких спектральных участках выбранного диапазона волн.

Наиболее используемым видом спутниковой информации являются ТВ и ИК изображения облачного покрова, получаемые через каждые 30 минут. Этот вид метеорологической информации широко используется в повседневной работе синоптиков для прогнозов погоды, позволяет оценить синоптическую ситуацию в различных районах земного шара и, в первую очередь над районами, где наблюдательная наземная сеть очень редка или отсутствует (малонаселённые районы, Мировой океан). Эти изображения позволяют своевременно обнаружить такие опасные явления, как тропические ураганы и проследить их траекторию.

Изучение изображений облачности на спутниковых снимках называется нефанализом, на основании которого представляется возможным определить типы облачности: кучевообразные, слоистообразные, слоисто-кучевообразные, перистообразные, кучево-дождевые, мощные кучевые и их сочетания.

В отличие от наземных наблюдений за облаками, которые ограничиваются светлым временем суток, по данным спутниковых снимков можно проследить эволюцию облаков в суточном ходе.

Используя результаты нефанализа в сочетании с данными наземных наблюдений, синоптики получают возможность определять положения фронтов, циклонов, антициклонов и проследить их эволюцию. По характеру облачности получают информацию об устойчивости воздушных масс.

Сопоставляя снимки облачности в хронологическом порядке, определяют скорости и направление ветров на больших пространствах.

Современные методы позволяют со спутников определять высоту верхней границы облаков, но имеются трудности с получением сведений о многоярусной структуре облаков и определением высоты нижней границы облаков.

Снимки из космоса широко используются в системе мониторинга экологического состояния приземных слоёв атмосферы.

Приём метеорологической информации, поступающей со спутников, осуществляется на специально оборудованных наземных комплексах, откуда по каналам связи она передается в соответствующие подразделения гидрометслужбы для использования в оперативной работе.

В настоящее время метеорологические спутники не в состоянии заменить наземные метеорологические и аэрологические наблюдения. Поэтому Всемирная служба погоды и наша отечественная успешно соче-

тают наземные (прямые) и спутниковые (дистанционные) методы наблюдений как взаимно дополняющие друг друга. Усовершенствование спутниковых систем зондирования атмосферы направлено на повышение точности измерений и разрешающей способности по высоте слоя атмосферы, дистанционного метода определения глобальных полей метеоэлементов.

11. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Развитие промышленности и транспорта приводит к увеличению поступления вредных веществ в атмосферу. Вредные вещества, поступающие в атмосферу в результате человеческой деятельности, можно условно подразделить на основные и специфические. К основным примесям относятся: двуокись серы или сернистый газ (SO_2), окись углерода (CO), двуокись азота (NO_2) и пыль. К специфическим примесям относятся сероводород и сероуглерод (выбросы предприятий искусственного волокна), фтористый водород (алюминиевая промышленность) и некоторые другие.

Критерием оценки уровня загрязнения атмосферы являются предельно допустимые концентрации (ПДК), утверждённые министерством здравоохранения.

Сеть службы контроля загрязнения атмосферы состоит из стационарных и передвижных наблюдательных постов. Стационарный пост размещается в типовом павильоне (рис. 11.1) и оснащён аппаратурой для отбора проб воздуха, измерения и регистрации содержания определённых примесей в атмосфере, а также приборами для производства необходимых метеорологических измерений. Забор проб на газовые примеси производится на высоте 3-4 м, а пробы на пыль и сажу берут на высоте 1,5 м.

Передвижной наблюдательный пост размещается на автомашине и предназначен для проведения периодических измерений в отдельных пунктах, расположенных вдоль определённого маршрута (маршрутные измерения) и под факелами труб, через которые производятся промышленные выбросы (подфакельные измерения).

Число стационарных постов в городе (населённом пункте) назначается в зависимости от численности населения, площади, рельефа, развития промышленности и транспорта.

Систематические наблюдения за загрязнением атмосферы проводятся в 1; 7; 13; и 19 ч декретного времени.

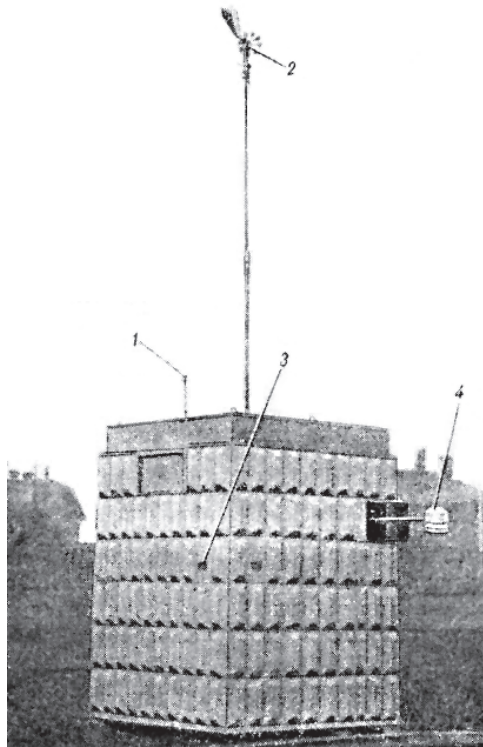


Рис.11.1. Стационарный пост наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы.

1 – воздухозаборник для взятия проб воздуха для определений газовых примесей; 2 – датчик анеморумбометра; 3 – отверстие для взятия проб запыленности воздуха; 4 – датчики температуры и влажности воздуха.

Передвижным постом маршрутные наблюдения проводятся в случаях, когда в городе стационарных постов недостаточно, либо при необходимости более детального обследования какого-либо района.

Подфакельные измерения организуются при обследовании отдельных промышленных предприятий (ТЭЦ, заводов и т.п.) вблизи дымовых и газовых факелов этих предприятий. Цель этих измерений – оп-

ределить возможные максимальные концентрации и зону распространения примесей от данного промышленного источника. Отбор проб производится по направлению ветра на расстояниях от источника выбросов от 0,2 до 20 км.

Наиболее важными являются измерения на расстояниях, равных 10-40 высотам труб, где следует ожидать максимальные концентрации примесей. Отбор проб осуществляется на высоте 1,5 м в течение 20-30 мин, с интервалами между отборами 10 мин. Подфакельные измерения производят во все сезоны года и при различных условиях погоды.

Количественный анализ присутствующих в атмосфере вредных примесей производится после их предварительного концентрирования. Для газовых примесей это осуществляется протягиванием анализируемого воздуха через поглотительные приборы, наполненные растворами соответствующих реактивов. Отбор проб пыли и сажи производится на фильтрующие материалы. Для определения химического состава атмосферных осадков производится отбор выпавших осадков с помощью специальных устройств.

Метод отбора проб воздуха с последующим анализом является трудоёмким и затратным по времени (результат получают через 12-24 ч после отбора проб), поэтому он не удовлетворяет требованиям оперативного получения информации о загрязнении воздуха. Применение автоматических газоанализаторов с самописцами позволяет непрерывно получать информацию о содержании вредных ингредиентов в воздухе, которая сразу же может быть передана ответственным организациям.

Существующая система получения данных о состоянии воздушной среды не может удовлетворять современным требованиям службы контроля загрязнения атмосферы, особенно в больших городах. Поэтому разрабатываются и создаются комплексные автоматизированные системы контроля загрязнения воздуха, способные обеспечить получение информации с необходимого числа наблюдательных пунктов с автоматическим отбором и анализом проб воздуха, сбор и анализ полученных результатов, принятие решений, в случае необходимости выдачу рекомендаций о мерах по снижению уровня загрязнения, а также контроль выполнения рекомендаций и оценку эффективности их проведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий О.А., Гуральник И.И., Ларин В.В. Метеорология, методы и технические средства наблюдений. -Л.: ,Гидрометиздат. 1984. – 323 с.
2. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. - Л.:, Гидрометиздат. 1971.-370 с.
3. Зайцева И.А. Аэрология. -Л.:. Гидрометиздат . 1990. –322 с.

Содержание

1. ЦЕЛЬ, ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ	3
1.1. Цель и организация метеорологических наблюдений	3
1.2. Основные требования к приземным метеорологическим наблюде- ниям	5
1.3. Объем и сроки метеорологических наблюдений	5
1.4. Площадка для метеорологических наблюдений	6
1.5. Средства измерений	7
2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ	8
2.1. Общие положения	8
2.1.1. Жидкостные термометры	10
2.1.2. Деформационные термометры	12
2.1.3. Электрические термометры	13
2.2. Измерение температуры воздуха	14
2.3. Измерение температуры деятельного слоя	21
3. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА	26
3.1. Психрометрический метод	26
3.2. Гигрометрический метод	29
4. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ	37
4.1. Ртутный барометр	37
4.2. Барометр-анероид	40
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА	46
6. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ИСПАРЕНИЯ	52
6.1. Наблюдение за осадками	53
6.2. Измерение испарения	61
7. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ОБЛАКАМИ	64
7.1. Определение форм и количества облаков	65
7.2. Измерение высоты нижней границы облаков	65
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ (МДВ)	67
9. АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И НАБЛЮДЕНИЯ	69
9.1. Основные актинометрические характеристики	69
9.2. Приборы для измерения лучистой энергии	70
9.3. Определение продолжительности солнечного сияния	77
10. ДИСТАНЦИОННЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	80

10.1. Дистанционные и автоматические метеорологические станции .	80
10.2. Радиолокационные метеорологические наблюдения	83
10.3. Аэрологические наблюдения	84
10.4. Аэростатное и самолётное зондирование	87
10.5. Ракетное зондирование	89
10.6. Спутниковая метеорология	89
11. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ..	93
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	96

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Моргунов Владимир Кириллович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по курсу “Метеорология и климатология”

Часть 3

“Метеорологические приборы и методы наблюдений”

/для студентов III курса специальности 3200600

“Комплексное использование и охрана водных ресурсов”/

Ответственный за выпуск: Кузнецова С.В.

Компьютерная верстка: Шулика И.В.

Подписано в печать 08.04.2003 с оригинал-макета

Бумага офсетная №1, формат 60 на 84^{1/16}, печать трафаретная - Riso.

Усл. печ. л. 5,76 тираж 150 экз., заказ № Цена договорная

Новосибирская государственная академия водного транспорта
(НГАВТ) 630099 Новосибирск, Щетинкина, 33

Отпечатано в отделе оформления НГАВТ