

***МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ
РАБОТ ПО МЕТЕОРОЛОГИИ
И КЛИМАТОЛОГИИ***

Ижевск 2008

Федеральное агентство по образованию
ГОУВПО «Удмуртский государственный университет»
Географический факультет
Кафедра физической географии и ландшафтной экологии

***МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО МЕТЕОРОЛОГИИ И КЛИМАТОЛОГИИ***

Ижевск 2008

УДК 551.5(076)
ББК 26.23p30
М 545

Рецензент: И.Е. Егоров, канд. геогр. наук
Составитель: Л.Н. Петухова, канд. геогр. наук

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Географического факультета

М545 Методическое руководство к проведению лабораторных работ по метеорологии и климатологии / Сост. Л.Н. Петухова; УдГУ. - Ижевск, 2008. - 103 с.

Руководство содержит описание метеорологических приборов, методов наблюдений; включает задания к проведению лабораторных работ по метеорологии и климатологии и методические указания по их выполнению.

УДК 551.5(076)
ББК 26.23p30

© Сост. Л.Н.Петухова, 2008
© Удмуртский университет, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Методическое руководство к проведению лабораторных работ по метеорологии и климатологии предназначено для студентов географического факультета при изучении курсов «Метеорология и климатология», «Учение об атмосфере», полностью соответствуя программам лекционных курсов.

Руководство содержит описание метеорологических приборов, методов наблюдений, первичной обработки результатов наблюдений; знакомит студентов с основными климатологическими материалами и методикой составления климатических характеристик территорий.

Разработанные в пособии задания помогают студентам успешно усвоить лекционные курсы, приобрести навыки работы с основными приборами и установками, применяемыми на метеорологических станциях и в полевых условиях.

Руководство ориентировано на формирование учебно-познавательной и информационной компетенции студентов; способствует активизации самостоятельной работы.

ГЛАВА 1

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 приобретают систематические наблюдения и изучение состояния атмосферы и атмосферных процессов и на этой основе прогнозирование благоприятных и неблагоприятных условий. Для выполнения этих задач во всех странах мира имеются государственные метеорологические службы.

В Российской Федерации удовлетворять запросы в метеорологической информации различных отраслей народного хозяйства страны (транспорт, сельское хозяйство, градостроительство, здравоохранение и многое другое) призвана Федеративная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Задачи Росгидромета - осуществление всего комплекса работ по организации наблюдений, обработке информации о текущем состоянии природной среды, составление всех видов прогнозов и предупреждений, контроль природной среды, доведение информации до потребителя, организация научных исследований в области метеорологии, климатологии и загрязнения природной среды.

Исходя из задач, выполняемых Росгидрометом, в его систему входят: сеть пунктов наблюдений, поставляющих информацию о фактическом состоянии атмосферы, центры по изучению и контролю природной среды, обсерватории и научно-исследовательские институты, призванные заниматься изучением различных аспектов метеорологии, климатологии и отвечающих за организацию соответствующих направлений исследований в системе гидрометслужбы.

Старейшим в нашей стране научно-исследовательским учреждением является главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова в Санкт-Петербурге, основанная в 1849 г.,

Российский гидрометцентр в Москве, основанный в 1930 г., ответственен за все виды прогнозов, Российский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации в Обнинске - за хранение, систематизацию и распространение информации, Арктический и Антарктический институт в Санкт-Петербурге выполняет исследования в Арктике и Антарктике. Исследованиями в различных направлениях метеорологии и климатологии занимаются: Институт прикладной геофизики им. Е.К. Федорова, Институт физики атмосферы РАН, Институт океанологии им. П.П. Ширшова. Государственный океанографический институт, Институт географии РАН. Большие исследовательские работы осуществляют обсерватории и региональные научно-исследовательские институты.

В ведении Росгидромета для выполнения экспедиционных исследований имеется флот, состоящий из специально оборудованных судов.

Основным звеном Росгидромета является Государственная система наблюдений и контроля за состоянием природной среды, задача которой - осуществление всего комплекса работ по производству наблюдений, обработке информации о текущем состоянии природной среды. Результаты этих наблюдений используются для всех видов обслуживания народного хозяйства и населения, составления прогнозов, издания режимно-систематических справочников.

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, которые предназначены для изучения вековых изменений климата и 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 расстояние 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 равными 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 отсчету 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.

На сети аэрологических станций производится регулярное зондирование атмосферы до высоты 30-40 км (определяются давление, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра).

На сети наземных метеорологических радиолокационных станций производятся наблюдения за развитием и движением облаков, грозами, образованием града, количеством выпавших осадков в радиусе до 150 км.

На ионосферных, геомагнитных, гелиофизических станциях проводят наблюдения за состоянием ионосферы, магнитного поля Земли, активностью Солнца.

Космическая подсистема получения информации состоит из нескольких метеорологических спутников и наземного комплекса приема, обработки и распространения метеорологической информации, включающего пункты приема в Москве, Новосибирске, Хабаровске. Спутники дают регулярную информацию о распределении облачности, состоянии снежного покрова, о тепловой энергии, отражаемой и излучаемой земной поверхностью и атмосферой.

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), соответствующего 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 установке, 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».

На всех основных станциях приземной сети обязательными являются наблюдения за такими метеозементами, как 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, продолжительностью солнечного сияния, гололедно-изморозевыми явлениями на проводах и др.

На всех основных метеорологических станциях стандартные наблюдения производятся в единые синхронные сроки - через 3 ч, начиная с 0 ч по среднему гринвичскому времени.

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: 0 ч 30 мин, 6 ч 30 мин, 9 ч 30 мин, 12 ч 30 мин, 15 ч 30 мин, 18 ч 30 мин.

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВРЕМЕНИ

Основой для определения времени служит видимое суточное движение Солнца по небесному своду. Момент, когда Солнце находится точно на юге, т.е. на меридиане данного места, называется истинным полднем. Промежуток времени между двумя истинными полднями двух соседних суток называется *истинными солнечными сутками*. Продолжительность их меняется в течение года вследствие неравномерного движения Земли вокруг Солнца и изменения наклона эклиптики к экватору.

Для удобства измерения времени приняты *средние солнечные сутки*, величина которых в течение года не меняется и равна средней за год продолжительности истинных солнечных суток (24 часа). Разность между средним и истинным солнечным временем называется «*уравнением времени*». Наибольших значений оно достигает два раза в году: в середине февраля (+14,5 мин) и начале ноября (-16,3 мин); четыре раза в году оно обращается в нуль, т.е. среднее солнечное время совпадает с истинным: в середине апреля, в середине июня, в начале сентября и в конце декабря.

Имея уравнение времени (которое обычно приводится в приложениях к метеорологическим пособиям), можно вычислить среднее солнечное время, если известно истинное время, и наоборот:

$$T = \tau + \eta,$$

где T – среднее солнечное время, τ – истинное солнечное время, η – уравнение времени.

Среднее солнечное время одинаково для всех точек, расположенных на одном меридиане, и различно для двух соседних меридианов.

В быту для упрощения счета времени принята система *поясного времени*. Весь земной шар разделен по меридианам на 24 часовых пояса по 15° в каждом (от 0 до 23) (*прилож. 1*). Счет поясов ведется на восток от нулевого (гринвичского) меридиана, который является средним меридианом нулевого пояса. Граничными для этого пояса служат $7^{\circ}30'$ з.д. и $7^{\circ}30'$ в.д. в

пределах этого часового пояса пользуются средним солнечным временем нулевого меридиана, которое и называется поясным. Первый пояс ограничен меридианами $7^030'$ в.д. и $22^030'$ в.д. и имеет поясное время, равное среднему солнечному времени для 15 в.д.

Практические границы поясов совпадают с меридианами только в открытом море и в малонаселенных местностях. Во всех других местах при проведении границ поясов принимались во внимание административно-политические границы государств и областей и экономические связи соседних территорий (см. карту часовых поясов в атласе учителя).

В России принято еще так называемое *декретное время*, равное поясному плюс 1 час.

Перевод среднего солнечного времени в поясное (декретное) и обратно

Для вычисления среднего солнечного времени необходимо знать долготу пункта с точностью до минут и поясное (декретное) время.

Известно, что 360^0 дуги соответствуют 24 часам времени, т.к. Земля совершает полный оборот вокруг собственной оси за 24 часа. Тогда 15^0 дуги-1 час времени, 1^0 -4 минуты, $1'$ -4 секунды.

Если дано декретное время, прежде всего необходимо получить поясное время, т.е. вычесть один час. Затем нужно вычислить разность между средним меридианом пояса, в пределах которого лежит данный пункт, и долготой пункта, и, пользуясь вышеприведенными соотношениями, перевести эту разность в единицы времени. Последнюю из вычисленных величин (разность долгот в единицах времени) прибавляют к поясному времени или вычитают из него в зависимости от того, к востоку или к западу от среднего меридиана находится пункт.

Пример. $\lambda=68^042'$ в.д. $T^{//}$ (декретное время)=12 часов, T (среднее солнечное время)=?

1. Определяем, в каком поясе находится указанный пункт.

В данном случае пункт лежит в поясе между $67^030'$ и $82^030'$ в.д., т.е. в V поясе, средний меридиан которого 75^0 .

2.Вычисляем разность долгот и переводим ее в единицы времени:

$$75^0-68^042'=6^018';$$

$$6^018'=25 \text{ мин.} 12 \text{ сек.}$$

3.Вычисляем среднее солнечное время данного пункта:

$$T' (\text{поясное время}) = 12 \text{ час.} - 1 \text{ час.} = 11 \text{ час.};$$

$$T (\text{ср. солнечное время}) = 11 \text{ час.} - 25 \text{ мин.} 12 \text{ сек.} = 10 \text{ час.} 34 \text{ мин.} 48 \text{ сек.}$$

При определении среднего солнечного времени вычитаем разность во времени (25 мин 12 сек), т.к. пункт находится к западу от среднего меридиана. Это значит, что при видимом движении Солнца с востока на запад одно и то же его положение будет сначала наблюдаться на среднем меридиане пояса, а затем уже на меридиане данного пункта. Если бы пункт находился у востоку от осевого меридиана V пояса, поправка времени имела бы знак плюс.

ЗАДАНИЕ

1. Долгота пункта $93^015'$ в.д. Определить среднее солнечное время, если декретное время равно 18 час. 30 мин.; 0 час. 40 мин.

2. Какова разница во времени между пунктами $10^010'$ з.д. и $64^017'$ з.д.: а) в пояском и б) в среднем солнечном времени?

3. Долгота пункта $79^016'$ в.д. Какое время должны показывать часы пункта, идущие по среднему солнечному времени, в момент радиосигнала из Москвы в 12 час.?

4. Среднее солнечное время в пункте А ($\lambda=129^043'$ в.д.) равно 13 час. Чему равно поясное и среднее солнечное время в тот момент в пунктах Б ($\lambda=48^002'$ в.д.), В ($\lambda=92^049'$ в.д.) и Г ($\lambda=131^055'$ в.д.)?

ГЛАВА 3

АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Атмосферное давление, измеряемое на всех метеорологических станциях, необходимо знать для составления приземных синоптических карт, отражающих состояние погоды в определенный момент времени. Данные об атмосферном давлении широко применяются в различных отраслях науки и хозяйства.

Единицами для измерения атмосферного давления служат *миллиметр ртутного столба* (мм рт. ст.), *миллибар* (мб), *паскаль* (Па). Миллиметр рт. ст. – это изменение атмосферного давления, соответствующее поднятию или опусканию ртутного столба в барометре на 1 мм. Миллибар – единица системы CGS; 1 мб – это давление, равное силе в 1000 дин, действующей на 1 см². Соотношение между миллиметром рт. ст. и миллибаром таково: 1 мб – 0,75 мм рт. ст., 1 мм рт. ст. – 1,33 мб.

Среднее давление на уровне моря составляет 760 мм рт. ст. или 1013,2 мб. Эта величина принимается за стандартную или «нормальную». Можно за стандартную величину принимать также давление, равное 1000 мб.

В зависимости от назначения приборы для измерения атмосферного давления делятся на три типа: ртутные барометры, anerоиды и гипсотермометры.

Наиболее точными стандартными приборами являются **ртутные барометр**. Они представляют собой два сообщающихся сосуда, наполненных ртутью; одним из них служит запаянная сверху стеклянная трубка длиной около 90 см, не содержащая воздуха. В зависимости от формы сообщающихся сосудов ртутные барометры подразделяют на 3 основных типа: чашечные, сифонные и сифонно-чашечные. Практически применяют чашечные и сифонно-чашечные барометры. На метеорологических станциях пользуются стационарным чашечным барометром.

Он состоит из барометрической стеклянной трубки, опущенной свободным концом в чашу. Вся барометрическая трубка заключена в латунную оправу, в верхней части которой сделана вертикальная прорезь; на краю прорези нанесена шкала для отсчёта

положения мениска ртутного столба. Для точной наводки на вершину мениска и отсчёта десятых долей применяется особый визир, снабженный нониусом и перемещаемый винтом. Отсчёт высоты ртутного столба производят по положению ртути в стеклянной трубке, а изменение положения уровня ртути в чашке учитывается применением компенсированной шкалы так, что отсчёт по шкале получается непосредственно в миллибарах. Чашечные барометры выпускаются с пределами измерения 810—1070 *мм* и 680—1070 *мм*; точность отсчёта 0,1 *мм*.

В качестве контрольного применяется сифонно-чашечный барометр. Он состоит из двух трубок, опущенных в барометрическую чашу. Одна из трубок закрыта, а другая сообщается с атмосферой. При измерении давления винтом поднимают дно чашки, подводя мениск в открытом колене к нулю шкалы, а затем отсчитывают положение мениска в закрытом колене. Давление определяют по разности уровней ртути в обоих коленях. Предел измерения этого барометра 880—1090 *мм*, точность отсчёта 0,05 *мм*.

Все ртутные барометры — абсолютные приборы, т.к. по их показаниям непосредственно измеряют атмосферное давление.

Для определения атмосферного давления в показания ртутного барометра вводят поправки: 1) инструментальную, исключаящую погрешности изготовления; 2) поправку для приведения показания барометра к 0°C, т.к. показания барометра зависят от температуры (с изменением температуры меняется плотность ртути и линейные размеры деталей барометра; 3) поправку для приведения показаний барометра к нормальному ускорению свободного падения ($g_n = 9,80665 \text{ м/сек}^2$), она обусловлена тем, что показания ртутных барометров зависят от географической широты и высоты над уровнем моря места наблюдений.

Барометр анероид - от греч. *a* — отрицательная частица, *nērys* — вода, т. е. действующий без помощи жидкости.

Приёмной частью анероида (*рис. 1А*) служит круглая металлическая коробка *А* с гофрированными основаниями, внутри которой создано сильное разрежение. При повышении атмосферного давления коробка сжимается и тянет прикрепленную

к ней пружину; при понижении давления пружина разгибается и верхнее основание коробки поднимается. Перемещение конца пружины передаётся стрелке *B*, перемещающейся по шкале *C*. (В последних конструкциях вместо пружины применяют более упругие коробки.) К шкале анероида прикреплен дугообразный термометр, который служит для внесения поправки в показания анероида на температуру.

Методика измерения давления с помощью барометра-анероида. Открыв футляр, дают анероиду время принять температуру окружающего воздуха (5-10 минут). Снимают показания термометра с точностью до 1 град. Затем, проверив на глаз правильность положения анероида и постучав пальцем по стеклу (что уменьшает трение в отдельных звеньях передаточного механизма), снимают отсчет по положению конца стрелки относительно шкалы с точностью до десятой доли деления..

Для получения истинного значения давления показания анероида нуждаются в поправках, которые определяются сравнением с ртутным барометром. Поправок к анероиду три: шкаловая, температурная и добавочная.

Шкаловая поправка исключает инструментальную погрешность анероида, возникающую в результате технологических допусков при изготовлении его шкалы, узлов передаточного механизма и барокоробки, а также неравномерной чувствительности прибора на различных участках шкалы. В поверочном свидетельстве к анероиду шкаловые поправки приводятся для всей шкалы через каждые 10 делений (приложение 1). Поправку к любой точке шкалы вычисляют интерполяцией по поправкам к двум соседним точкам.

При изменении температуры анероида его показания изменяются вследствие того, что упругость мембранных коробок не остается постоянной. При повышении температуры их упругость уменьшается, в силу чего коробка сдавливается больше, и анероид дает завышенные показания. При понижении температуры – заниженные. Чтобы исключить влияние температуры, к показаниям анероида добавляют *температурную поправку*, которую вычисляют по особой формуле, приведенной в поверочном свидетельстве прибора (приложение 1).

Свойства датчика и передаточного механизма анероида с течением времени меняются. Для учета этого вводят *добавочную поправку*, приведенную в паспорте прибора (*прилож. 2*). Ее определяют при ежегодной проверке анероида, сличая его показания, исправленные температурной и шкаловой поправками с показаниями эталонного барометра.

Вследствие своей портативности анероид широко применяются в полевых условиях, в частности при барометрическом нивелировании, т.е. определении разности высот на местности по разности давлений, измеренных в верхней и нижней точках. Обычно при вычислении превышения одного пункта над другим пользуются барометрической формулой Бабинэ:

$$H = 16000(1 + 0,00366t) \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2},$$

где P_1 – давление (гПа) в нижнем пункте, P_2 – давление в верхнем пункте, t – среднее значение температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$).

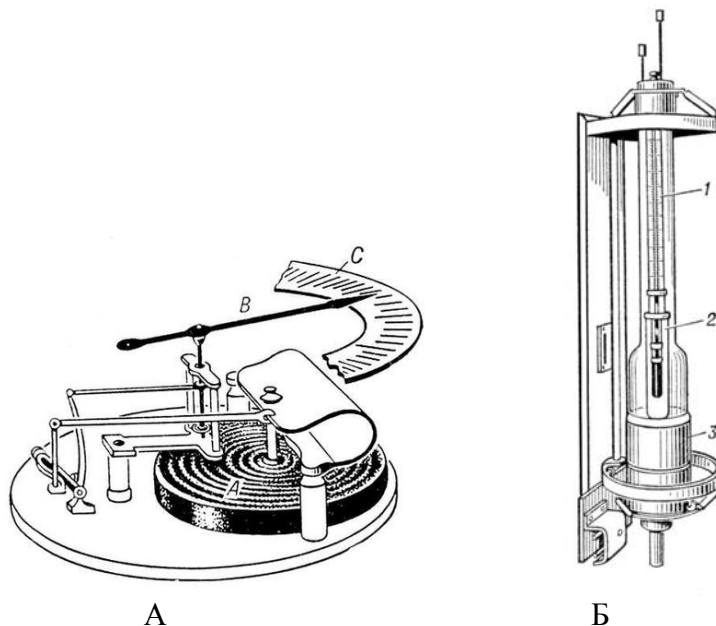


Рис. 1. А - схема барометра-анероида; Б - гипсотермометр

Гипсотермометр - от греч. *hýpsos* — высота и термометр - гипсометр, термобарометр - прибор для измерения атмосферного давления по температуре кипящей жидкости. Кипение жидкости наступает, когда упругость образующегося в ней пара достигает величины внешнего давления. Измерив температуру пара кипящей жидкости, по специальным таблицам находят величину атмосферного давления. Гипсотермометр состоит из специального термометра *1* (рис. 1Б), позволяющего отсчитывать температуру с точностью $0,01^\circ$, и кипяtilьника, который состоит из металлического сосуда *3* с дистиллированной водой и раздвижной трубки *2* с двойными стенками. Термометр помещается внутри этой трубки и омывается парами кипящей воды. Выпускаются гипсотермометры, у которых деления на шкале термометра нанесены в единицах давления (*мм рт. ст.* или *мб*).

Гипсотермометр имеет преимущества по сравнению с anerоидом, т.к. свободен от ошибок, обусловленных упругими свойствами мембранной коробки, и от влияния температуры; в нём нет механических передач. Однако вследствие его сложности им пользуются в радиозондах и экспедиционных условиях только в случаях, когда anerоиды не могут обеспечить необходимой точности измерений.

Барограф – прибор, служащий для непрерывной регистрации колебаний атмосферного давления (рис. 2). Барограф состоит из трех частей: приемной (датчика), передающей и регистрирующей.

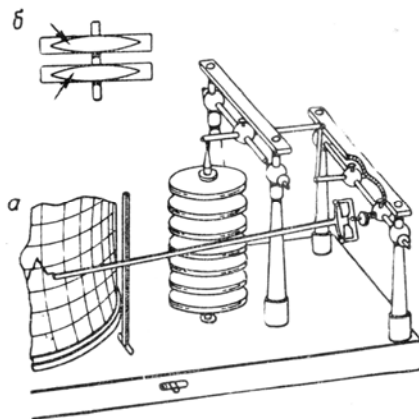


Рис. 2. Устройство барографа

Приемной частью, реагирующей на изменения давления, служит система анероидных коробок, свинченных между собой. Для того чтобы коробки, из которых воздух выкачивается почти полностью, не сплющивались внешним давлением, внутри каждой из них помещена пружина в виде рессоры (рис. 2б). Роль пружины могут выполнять также стенки самих коробок при специальном их изготовлении. Верхняя коробка соединяется с рычагом передающего механизма. Величина деформации коробок очень мала, но при передаче на перо она увеличивается с помощью рычагов в 80-100 раз.

Для уменьшения влияния температуры на показания барографа в его нижней части вмонтирован биметаллический компенсатор, изготовленный путем сварки стальной и медной пластинок. Нижний конец столбика свинченных анероидных коробок упирается в компенсатор. При повышении температуры упругость пружин внутри коробок ослабевает, и барограф должен показать величину давления больше действительного. Но этого не произойдет, т.к. при повышении температуры биметаллическая пластинка прогнется немного кверху вследствие разных коэффициентов расширения меди и стали. Вместе с ней поднимается и весь столбик коробок. Таким образом, уменьшение длины столбика коробок, происшедшее вследствие повышения температуры, компенсируется действием компенсатора. Иногда вместо биметаллического компенсатора в анероидных коробках оставляют немного газа, который также оказывает компенсирующее действие.

Регистрирующая часть барографа представляет собой барабан с часовым механизмом внутри. На барабан надевается бумажная лента, на которой нанесены горизонтальные и дугообразные деления сверху вниз; горизонтальные линии соответствуют атмосферному делению в *мм рт. ст.* или *мб*, дугообразные – интервалам времени. Если самописец недельный, т.е. один оборот барабана совершается один раз в неделю, дугообразные деления на ленте проводятся через 2 часа, в суточных барографах – через 15 минут.

На конце стрелки, соединенной посредством рычагов с анероидными коробками, насажено перо, которое при подготовке самописца к работе наполняется специальными чернилами. При вращении барабана перо, касаясь ленты, оставляет на ней запись соответственно колебаниям атмосферного давления. Нажим пера на ленту регулируется поворотом рамки, укрепленной у основания стрелки.

В дне футляра имеется отверстие, в котором находится четырехгранный винт. Вращая этот винт при помощи специального ключа, прилагаемого к прибору, можно переместить весь столбик анероидных коробок по высоте и установить перо на нужном делении ленты.

Показания барографа нужно систематически сравнивать с данным ртутного барометра. Для этого в срочные часы наблюдений на ленте барографа делается засечка (осторожным поднятием пера на 2-3 мм). В сроки наблюдений по записи недельного барографа определяют *барическую тенденцию*, т.е. величину, знак и характер изменения давления за последние три часа.

ЗАДАНИЕ 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ БАРОМЕТРОМ АНЕРОИДОМ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЯ МЕЖДУ ТОЧКАМИ

Используемое оборудование: Барометр-анероид, термометр.

Порядок выполнения задания:

1. Изучить устройство барометра-анероида, приемы работы с ним, содержание поверочного свидетельства (паспорта) (*прилож. I*).
2. Отсчитать давление и температуру воздуха возле раздевалки в подвале 6-го корпуса УдГУ и на верхнем этаже 6-го корпуса.
3. Определить исправленное значение давления воздуха в точках измерений. По формуле Бабины вычислить разность высот между подвалом и 6-м этажом 6-го корпуса..

4. Выйти на улицу, выдержав барометр и термометр на воздухе 10 мин., отсчитать давление и температуру воздуха у входа в 4-й корпус УдГУ.

5. Отсчитать давление и температуру воздуха на Центральной площади. Определить исправленное значение давления воздуха в точках измерений и по формуле Бабины вычислить разность высот этих точек.

6. Все наблюдения записать по следующей форме:

Время и место наблюдений	Температура воздуха	Отсчет давления по шкале, кПа	Поправка шкалы кПа	Темпер. поправка кПа	Добав. поправка кПа	Исправл. давление кПа
Подвал 6-го корпуса						
6 этаж 6-го корпуса						
Вход в 4-й корпус						
Центр. площадь						

ЗАДАНИЕ 2

ЗНАКОМСТВО С УСТРОЙСТВОМ И РАБОТОЙ БАРОГРАФА

Используемое оборудование: Разборный барограф, лента к барографу, действующие недельный и суточный барографы, чернила и ключ к самописцу.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомится с принципом действия прибора и назначением его отдельных частей. Вычертить схему барографа.

2. Наложить ленту на барабан и отрегулировать самописец:

а) отвести перо от барабана, действуя рычагом, связанным с арретиром, и снять барабан с центральной оси;

б) взять чистую ленту и записать на ее обороте дату и место наблюдения;

в) держа барабан в левой руке прорезом кверху, наложить ленту на цилиндр так, чтобы левый край ее находил на правый как раз в том месте, где вставляется пружина. Лента должна прилегать к поверхности барабана и доходить вплотную до выступа нижнего основания. Горизонтальные линии на обоих концах ленты должны быть совмещены;

г) завести часовой механизм и установить барабан с лентой на ось;

д) наполнить перо чернилами, не переполняя его;

е) отрегулировать нажим пера с помощью рамки, укрепленной у основания стрелки. Для получения хорошей записи трение пера о бумагу должно быть очень мало; если при наклоне прибора на угол $30-40^{\circ}$ перо начинает слегка отходить от барабана, то нажим пера отрегулирован правильно;

ж) с помощью ключа установить перо на деление, соответствующее исправленному показанию ртутного барометра;

з) повернуть барабан самописца так, чтобы положение пера на ленте соответствовало данному моменту времени, и в верхнем левом углу ленты отметить время начала записи (с точностью до минуты);

и) для уничтожения «мертвого» хода барабана окончательное его вращение производить рукой против часовой стрелки.

3. Проанализировать ленты суточного и недельного барографов. Определить и записать барометрическую тенденцию по недельному барографу.

ГЛАВА 4

СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

ВИДЫ РАДИАЦИИ

Основным источником энергии почти для всех природных процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере, является лучистая энергия Солнца. Солнечную радиацию, в состав которой входят длины электромагнитных волн менее 4 микрон, в метеорологии принято называть коротковолновой. В солнечном спектре различают ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную части.

Солнечная радиация, поступающая непосредственно от солнечного диска, называется *прямой солнечной радиацией* (S). Она характеризуется интенсивностью, т.е. количеством лучистой энергии в калориях, проходящей в 1 минуту через 1 см^2 площади, расположенной перпендикулярно к солнечным лучам. Интенсивность прямой радиации, поступающей на верхнюю границу земной атмосферы, называют солнечной постоянной (S_0). Она составляет примерно $2 \text{ кал/см}^2 \text{ мин.}$ У земной поверхности прямая радиация всегда значительно меньше этой величины, т.к., проходя через атмосферу, ее солнечная энергия ослабляется вследствие поглощения и рассеяния молекулами воздуха и взвешенными частичками. ослабление прямой солнечной радиации атмосферой характеризуется или коэффициентом ослабления a , или коэффициентом прозрачности p . Для расчета прямой солнечной радиации, приходящейся на перпендикулярную поверхность, применяют формулу Буге:

$$S_m = S_0 p_m^m,$$

где S_m - прямая солнечная радиация, S_0 – солнечная постоянная, p_m – коэффициент прозрачности, m – масса атмосферы на пути солнечных лучей.

Прямая солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность (S') вычисляется по формуле:

$$S' = S \sin h_{\odot},$$

где $h_{\odot}$ - высота солнца над горизонтом.

Радияция, поступающая на земную поверхность от всех точек небесного свода, называется *рассеянной D*. Сумма прямой и рассеянной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную земную поверхность, представляет собой *суммарную солнечную радиацию Q*:

$$Q=S'+D.$$

Суммарная радиация, дошедшая до земной поверхности, частично отражаясь от нее, создает *отраженную радиацию R*, направленную от земной поверхности в атмосферу. Остальная часть суммарной солнечной радиации поглощается земной поверхностью. Отношение отраженной от земной поверхности радиации к поступающей суммарной радиации называется *альбедо A*. Величина альбедо характеризует отражательную способность земной поверхности, выражается в долях единицы или процентах. Разность между суммарной и отраженной радиацией называется *поглощенной радиацией* или балансом коротковолновой радиации земной поверхности B_k .

Поверхность земли и земная атмосфера, как и все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, также излучают радиацию, которую условно называют длинноволновой. Собственное излучение земной поверхности по закону Стефана-Больцмана пропорционально четвертой степени ее абсолютной температуры (T):

$$E_z=\delta\sigma T^4,$$

где σ – постоянная Больцмана, δ – относительная излучательная способность деятельной поверхности.

Излучение атмосферы направлено как к Земле, так и в мировое пространство. Часть атмосферного излучения, направленная вниз и поступающая к земной поверхности, называется встречным излучением атмосферы и обозначается E_a .

Разность между собственным излучением земной поверхности E_z и встречным излучением атмосферы E_a называется *эффективным излучением* земной поверхности $E_{эф}$:

$$E_{эф}=E_z-E_a$$

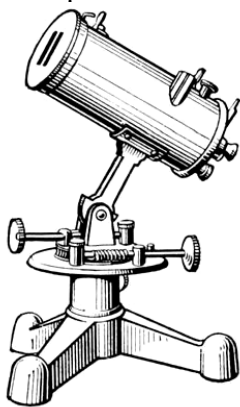
Разность между всей приходящей и всей уходящей радиацией называется *радиационным балансом* земной поверхности (B), т.е.

$$B=Q-R-E_{эф}$$

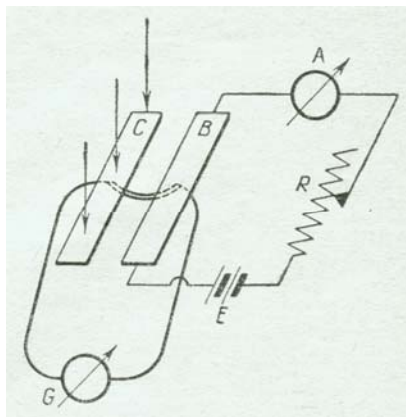
Прямая солнечная радиация

Для измерения прямой солнечной радиации применяются пиргелиометры и актинометры различных конструкций.

Пиргелиометр (от греч. *pŷr* — огонь, *hēlios* — Солнце и *...метр*) - абсолютный прибор для измерений прямой солнечной радиации, падающей на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность. В Западной Европе и России применяется компенсационный пиргелиометр Онгстрема (*рис. 3а*). Приёмной частью прибора служат две одинаковые очень тонкие манганиновые пластинки *B* и *C* (*рис. 3б*), зачернённые сверху. Одна пластинка (*B*) нагревается под действием солнечных лучей, другая (*C*), защищенная от их действия, нагревается электрическим током от постороннего источника *E*. При равенстве температур обеих пластинок термопара, прикрепленная к пластинкам, тока не даёт, так как происходит полная компенсация. Количество тепла, выделяемое при полной компенсации током во второй пластинке, равно количеству тепла, получаемому первой пластинкой от солнечной радиации.



А



Б

Рис. 3. А - внешний вид пиргелиометра Онгстрема ;
Б - схема компенсационного пиргелиометра

Актинометр (от *актино...* и греч. *metréō* — измеряю), прибор для измерения интенсивности прямой солнечной радиации. Принцип действия актинометра основан на поглощении падающей

радиации зачернённой поверхностью и превращении её энергии в теплоту. Актинометр является относительным прибором, т.к. об интенсивности радиации судят по различным явлениям, сопровождающим нагревание. Например, принцип действия актинометра Михельсона основан на нагревании солнечными лучами зачернённой сажей биметаллической пластинки 1, спрессованной из железа и инвара (*рис. 4А*). При нагревании железо удлиняется, а инвар почти не испытывает теплового расширения, поэтому пластинка изгибается. Величина изгиба служит мерой интенсивности солнечной радиации. С помощью микроскопа 3 наблюдают перемещение кварцевой нити 2, расположенной на конце пластинки 1.

В термоэлектрическом актинометре Савинова — Янишевского приёмной частью служит тонкий зачернённый с наружной стороны серебряный диск 1 (*рис. 4Б*), к внутренней стороне которого приклеены центральные спаи 2 термоэлементов, состоящих из зигзагообразно соединённых полосок манганина и константана (т. н. звёздочка Савинова). Периферийные спаи 3 приклеены к медному кольцу в корпусе. При падении на приёмную поверхность солнечных лучей центральные спаи нагреваются, в то время как периферийные затенены; в результате возникает термоэлектрический ток, пропорциональный разности температур центральных и периферийных спаев, которая в свою очередь пропорциональна измеряемому потоку радиации.

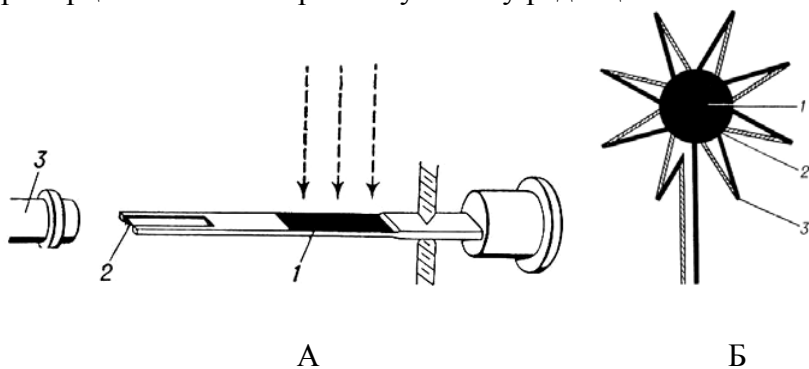


Рис. 4. А - Приёмная часть актинометра Михельсона;
Б - приёмная часть актинометра Савинова — Янишевского
(«звёздочка» Савинова)

Для получения непрерывной записи прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность трубка термоэлектрического актинометра монтируется на барабане с часовым механизмом. Этот барабан совершает за сутки полный оборот вокруг своей оси, которая расположена в плоскости меридиана под углом, соответствующим широте места. При такой установке трубка актинометра непрерывно передвигается вслед за солнцем, вследствие чего сохраняется перпендикулярность приемной пластинки к солнечным лучам. Такой прибор с вращающимся барабаном и автоматической наводкой на солнце называется **гелиостатом**. Для регистрации термотока актинометра к нему подключают самопишущий гальванометр (гальванограф). Вся установка (термоэлектрический актинометр, гелиостат, гальванограф) носит название актинографа.

Приборы, которые служат для непрерывной записи продолжительности солнечного сияния, называют **гелиографами** (от греч. *hélíos* — Солнце и *...графo*). Существует много конструкций гелиографа. В России наиболее распространён гелиограф Кэмпбелла — Стокса.

Приемной частью прибора служит стеклянный шар *1* (рис. 5), в фокусе которого устанавливается чугунная дугообразная пластинка-чашка *2*. Она имеет три паза для закладывания картонных лент. Лента закладывается так, чтобы ее среднее деление точно совпало со средней риской на чашке прибора. Лента прокалывается иглой *7* на штифте, который вставляется в специальное отверстие в чашке. При правильной установке ленты прокол приходится на второе часовое деление от ее середины. Чашка гелиографа вращается около вертикальной оси и закрепляется в нужном положении штифтом *3*. В зависимости от продолжительности возможного солнечного сияния используется различное число лент.

Если солнце не закрыто облаками, его лучи, пройдя сквозь шар, собираются в фокусе и прожигают ленту. При покрытии солнца облаками - прожог становится слабым или вообще прекращается. По суммарной длине прожога на ленте определяется продолжительность солнечного сияния в часах за сутки.

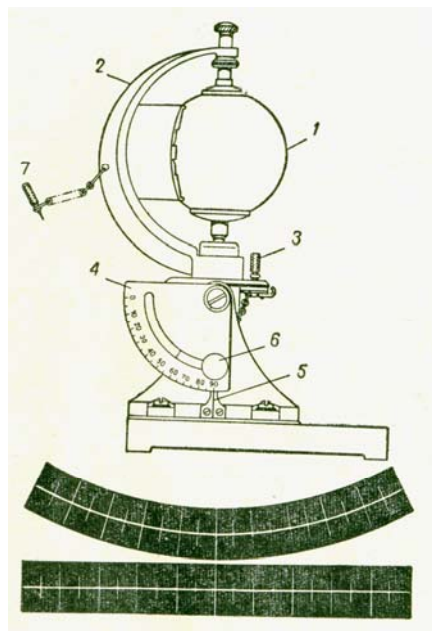


Рис. 5. Универсальный гелиограф и ленты к нему

Устанавливается гелиограф на прочном столбе или на крыше здания. Чашке прибора придают наклон, соответствующий широте метеостанции, которая отсчитывается на шкале 4 по индексу указателя 5; затем чашка закрепляется винтом 6. после этого гелиограф ориентируют так, чтобы в истинный полдень фокус пучка солнечных лучей на ленте совпадал с центральной линией чашки прибора. Гелиограф обычно устанавливают в солнечный день.

Суммарная и рассеянная радиация

Для измерения суммарной и отдельно рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, служит термоэлектрический **пиранометр** (от греч. *pŷr* — огонь, *ánō* — наверху и ...метр). В РФ принят пиранометр Ю. Д. Янишевского (рис. 6), в котором приёмником радиации служит термоэлектрическая батарея, составленная из манганиновых и

константановых полосок, соединённых последовательно. Чётные спаи термобатареи покрываются сажей, а нечётные — белой магнезией. Солнечная радиация поглощается сажей в большей степени, чем магнезией, поэтому между спаями возникает разность температур и возбуждается термоэлектрический ток, пропорциональный падающей радиации, который измеряется гальванометром. Термобатарея защищена от действия инфракрасной радиации атмосферы, ветра и осадков стеклянным колпаком.

Для измерения только рассеянной радиации применяется экран, затеняющий прибор от прямых лучей солнца. Размеры экрана рассчитаны так, чтобы от центра приемной поверхности пиранометра экран был виден под углом 10^0 , т.е. чтобы экраном закрывался участок неба вокруг солнца радиусом 5^0 . Для этого диаметр экрана должен быть равен диаметру стеклянного колпака, а расстояние между экраном и приемной частью прибора в 5,7 раз больше диаметра экрана.

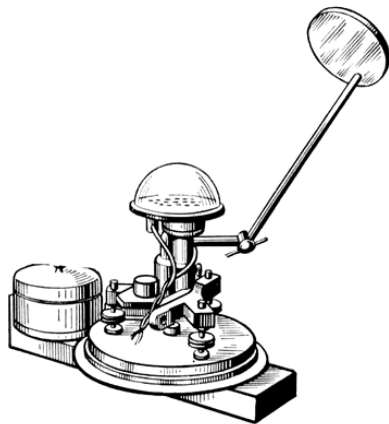


Рис. 6. Пиранометр Янишевского (внешний вид)

Для непрерывной записи рассеянной радиации служит **пиранограф**, состоящий из пиранометра и присоединенного к нему гальванографа или регистратора другого типа.

Для определения суммарной радиации обычно наблюдают одновременно по двум приборам – прямую радиацию S по актинометру и рассеянную радиацию D по пиранометру, затем их суммируют:

$$Q=S'+D,$$

где

$$S' = S \sin h.$$

Отраженная радиация

Для измерения коротковолновой радиации, отраженной от земной поверхности, для определения альbedo используют **альбедометр**. На практике применяются два вида альбедометров – стационарный и походный.

Стационарный альбедометр, или универсальный пиранометр, применяется при стационарных актинометрических наблюдениях. Он состоит из головки пиранометра и специального штатива, позволяющего придавать головке два положения: приемником вверх и приемником вниз.

Походный альбедометр, используемый при маршрутных наблюдениях, представляет собой головку пиранометра, соединенную с опрокидывающимся кардановым подвесом с рукояткой. Такое устройство обеспечивает горизонтальность приемной поверхности при повороте рукоятки вокруг горизонтальной оси. При наблюдениях рукоятка насаживается на шест, другой конец которого находится у наблюдателя. При положении приемной поверхности прибора вверх определяется суммарная радиация Q . Затем для измерения отраженной радиации R рукоятку альбедометра поворачивают на 180^0 . Зная эти величины можно определить альbedo:

$$A=R/Q.$$

Радиационный баланс

Для определения радиационного баланса земной поверхности B служит **балансомер**. Существует много конструкций, но наиболее распространен термоэлектрический балансомер

Янишевского. Приёмная часть его представляет собой 2 тонкие медные горизонтально расположенные пластинки с зачернёнными наружными поверхностями, которые воспринимают: одна — радиацию, идущую от Солнца и вышележащих слоев атмосферы, другая — излучение земной поверхности, нижних слоев атмосферы и отражённую радиацию. К внутренним поверхностям пластинок прикреплены термоэлементы для измерений разности их температур. Разность температур пластинок, пропорциональная разности потоков лучистой энергии, измеряется по значению силы термоэлектрического тока. В компенсационных балансомерах для выравнивания температур пластин через более холодную пластину пропускается электрический ток, нагревающий её; по силе тока определяется баланс радиации.

ЗАДАНИЕ

ЗНАКОМСТВО С ПРИБОРАМИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Ознакомится с устройством и принципом действия приборов для определения интенсивности солнечной радиации — пиргелиометра, актинометра, гелиостата, гелиографа, пиранометра, пиранографа, альбедометра, балансомера.

ГЛАВА 5

ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ, ВОДЫ И ВОЗДУХА

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 точка кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

Первый термометр, изобретение которого приписывается Галилею (1598 г.), шкалы не имел. Впоследствии в метеорологии получили распространение различные шкалы, которые предложили Фаренгейт (1715 г.), Реомюр (1736 г.), Цельсий (1748 г.), Кельвин (1848 г.).

Градус температурной шкалы Фаренгейта (F) составляет $1/180$ интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения 32 и 212^0 соответственно; градус температурной шкалы Реомюра (R) – $1/80$ интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения соответственно 0 и 80^0 ; градус температурной шкалы Цельсия (0C) составляет $1/100$ интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения соответственно 0 и 100^0 .

По шкале Кельвина точке плавления льда соответствует температура $273,15^0$ К. Связь между температурой по шкале Кельвина (T) и температурой по шкале Цельсия (C) имеет вид:

$$t^0_c = T - 273,15.$$

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:

$$t^0_c = 5/9 (t^0_F - 32); \quad t^0_F = 9/5 (t^0_c + 32).$$

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 - действие их основано на изменении объема жидкости при изменении температуры;

2) деформационные - действие основано на изменении линейных размеров твердых тел с изменением температуры;

3) электрические:

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

б) термоэлектрические - действие основано на изменении электродвижущей силы при изменении разности температур спаев;

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

Жидкостные термометры. Это наиболее распространенный тип термометров, применяемых в метеорологии.

Термометр состоит из резервуара, соединенного с капилляром, противоположный конец которого запаян. Резервуар с термической 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.

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 °C), благодаря чему в интервале температур у земной поверхности не происходит испарения, как у спирта и толуола. Но ртуть замерзает при температуре -38,9 °C. Поэтому при низких температурах приходится пользоваться спиртовыми и толуоловыми термометрами. Но эти жидкости, имея сравнительно низкие точки кипения (спирт +78,5 °C, толуол +110,5 °C), мало пригодны для измерения высоких положительных температур. Кроме того, спирт и толуол смачивают стекло, что влияет на точность показаний термометра.

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 ее свободный конец будет перемещаться пропорционально изменению температуры. Поэтому биметаллические термометры имеют равномерную шкалу.

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

Электрические термометры. В эту группу включены термометры сопротивления, термоэлектрические и термотранзисторные.

Термометры сопротивления. Принцип действия этого термометра 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 $t^\circ\text{C}$; R_0 - сопротивление при 0°C ; 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. В настоящее время эти термометры применяют для массовых измерений, не требующих высокой точности (с точностью до 1 °С).

В метеорологии термометры сопротивления находят применение при дистанционных измерениях температуры воздуха, почвы.

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 других приборов, например в актинометрических.

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 $+200^{\circ}\text{C}$. Термотранзисторы обладают стабильностью, линейностью, высокой чувствительностью.

Отсчеты по всем метеорологическим термометрам проводятся с точностью до $0,1^{\circ}$.

Каждый термометр после изготовления сравнивается в ССИ (Служба средств измерений) с нормальным термометром – эталоном. В результате поверки определяют инструментальные поправки, которые помещают в особых поверочных свидетельствах (сертификатах). В сертификатах указывается место и дата поверки и поверочный порядковый номер, который проставляют также на самом приборе.

Измерение температуры воздуха

Наибольшее распространение и применение для измерения температуры воздуха получили жидкостные термометры.

Термометр ртутный метеорологический максимальный ТМ-1. Предназначен для определения максимального значения температуры за какой-либо промежуток времени (на метеостанциях между сроками наблюдений).

Это термометр со вставной шкалой длиной 340 мм, диаметром 18 мм. Резервуар цилиндрической формы диаметром около 8 мм. В капилляре над ртутью создан вакуум. Пределы измерений от -35°C до $+50^{\circ}\text{C}$ или от -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$. Цена деления $0,5^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерения: при температуре от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$ не более $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$; при температуре -30°C не более $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 7А).

В дно резервуара впаян стеклянный конический стержень, который верхним узким концом входит в капилляр (рис. 8). Поэтому вначале капилляра образуется сужение, препятствующее свободному передвижению ртути из капилляра в резервуар. Когда температура повышается, ртуть под действием теплового расширения проталкивается через сужение из резервуара в капилляр. При понижении температуры ртуть из капилляра обратно не проходит, т.к. сцепления между частицами ртути не в состоянии преодолеть силы трения в суженной части термометра, и в этом

месте происходит разрыв ртути. Оставшийся в капилляре столбик ртути будет указывать максимальную температуру за определенный промежуток времени.

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 термометра 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. Предназначен для определения минимальной температуры за какой-либо промежуток времени (на метеостанциях за промежуток времени между сроками наблюдений). Это 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. 7Б).

Термометрическая жидкость - спирт. Внутри спирта в капилляре находится небольшой штифт из темного стекла, имеющий на своих концах утолщение в форме булавочных головок (рис. 8). 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. По положению мениска спирта можно определить срочную температуру. После отсчета термометр

переворачивают резервуаром вверх и ждут, пока штифт дойдет до мениска спирта.

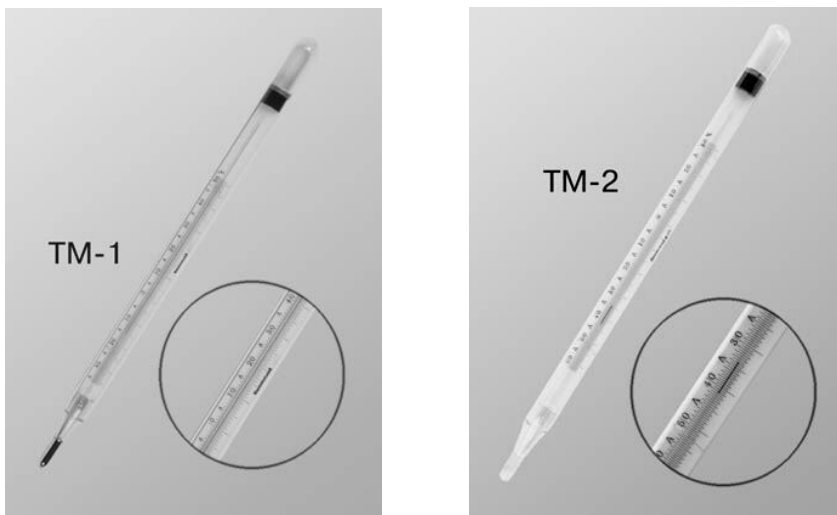


Рис. 7. А – максимальный термометр (TM-1);
Б - минимальный термометр (TM-2)

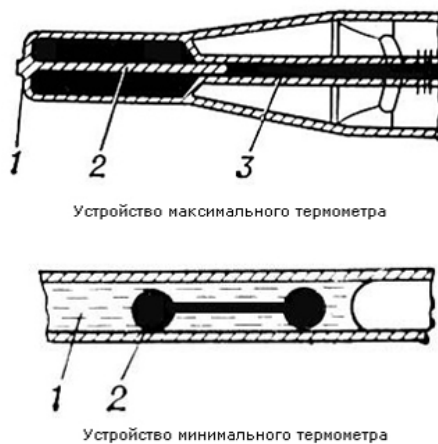


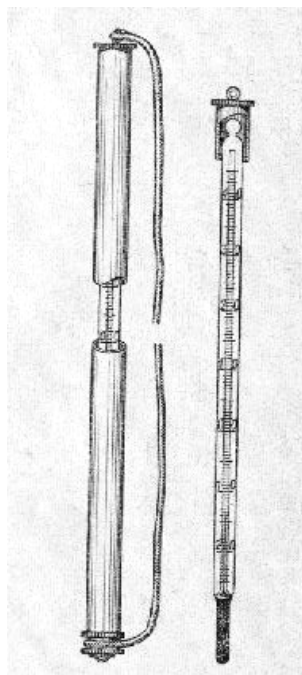
Рис. 8. Устройство максимального и минимального термометров

Термометр психрометрический ртутный метеорологический ТМ-4. Предназначен для измерения температуры воздуха, а также используется в психрометре для определения влажности воздуха (отсюда и его название «психрометрический») (рис. 9А).

Это ртутный термометр со вставной шкалой, 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°C или от -25 до +50°C, цена деления шкалы 0,2°C. Погрешность измерения: при температуре от 0 до +50°C не более $\pm 0,2^\circ\text{C}$, при температуре от 0 до -35°C не более $\pm 0,4^\circ\text{C}$.



А



Б

Рис. 9. А - психрометрический термометр (ТМ-4);
Б – термометр-пращ (ТМ-8)

Термометр-пращ ртутный метеорологический ТМ-8. 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. 9Б).

К шарик у 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 шнур наматывают на указательный палец и быстро делают отсчет, не касаясь термометра руками и повернувшись спиной к Солнцу, а затем продолжают вращение и заканчивают его после достижения сходимости отсчетов в пределах $0,2-0,3^{\circ}\text{C}$.

Термометр спиртовый метеорологический низкоградусный ТМ-9. Так как ртуть замерзает при температуре -39°C , то для определения температуры воздуха ниже -35°C применяется специальный спиртовый 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°C не более $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$; при температуре -70°C не более $+2,5^{\circ}\text{C}$. Как только температура воздуха начнет опускаться ниже -20°C , наблюдения по дополнительному спиртовому термометру следует проводить параллельно с использованием психрометрического ртутного термометра. Это необходимо для определения так называемой добавочной поправки для спиртового термометра.

Термограф метеорологический М-16. предназначен для непрерывной регистрации изменений температуры воздуха в пределах от -45 до $+55^{\circ}\text{C}$, погрешность измерения $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Приемной частью термографа, реагирующей на изменения температуры воздуха, служит изогнутая биметаллическая пластинка (рис. 10). Она состоит из двух металлических пластинок, обладающих различными коэффициентами расширения. Обычно применяются железные и медные пластинки. Один конец биметаллической пластинки закреплен неподвижно, к другому концу с помощью системы рычагов присоединена стрелка, на конце которой насажено перо, наполняемое чернилами с глицерином, предохраняющим их от высыхания и замерзания. При изменении температуры воздуха биметаллическая пластинка меняет изгиб, и перемещения ее конца в увеличенном виде передаются на стрелку с пером. Перо, прикасаясь к ленте на вращающемся барабане, вычерчивает на ней кривую, соответствующую изменениям температуры воздуха. Барабан приводится в движение с помощью часового механизма.

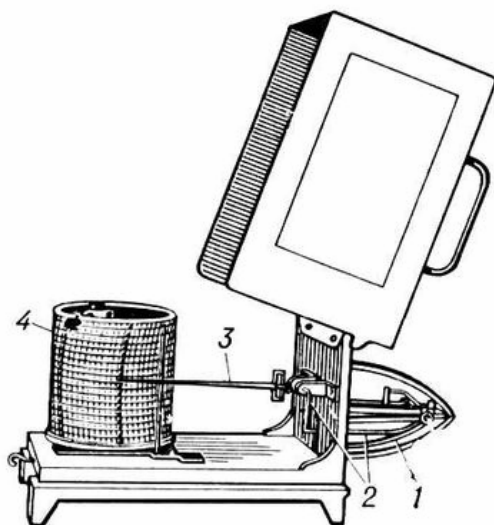


Рис. 10. Термограф (1- биметаллическая пластинка; 2 - система рычагов; 3 - стрелка; 4 - барабан)

В зависимости от скорости вращения барабана термограф бывает суточным и недельным. Ленты суточных самописцев имеют цену деления по вертикальной шкале времени 15 минут, а недельные – 2 часа. Цена деления горизонтальной шкалы ленты термографа равна 1°. Часовой механизм барабана может отставать или уходить вперед. Для регулировки хода предусмотрена стрелка-регулятор, расположенная в верхней части барабана около ключа, предназначенного для завода часового механизма. Смену лент на суточном термографе производят каждые сутки, как правило, в 12-часовой срок наблюдений, а на недельном – по понедельникам в тот же срок. Ленты с записью колебаний температуры воздуха (термограммы) сохраняют и обрабатывают.

Измерение температуры деятельного слоя

Измерение температуры поверхности почвы, снежного покрова и определение их состояния. Поверхность почвы и снежного покрова является 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°C; от -25 до +70°C; от -35 до +60°C, с, ценой деления шкалы 0,5°C. Погрешность измерения при температурах выше -20°C составляет $\pm 0,5^\circ\text{C}$, при более низких температурах $\pm 0,7^\circ\text{C}$. Для определения экстремальных температур между сроками используются **термометры максимальный ТМ-1 и минимальный ТМ-2** (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 площадки. Летом измерения производятся на оголенной, 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 теплое время года резервуар и защитная оболочка термометров (по диаметру) должны быть наполовину погруженными в почву, а при наличии снежного покрова - в снег. Отсчеты по термометрам берут с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$.

Порядок взятия отсчетов 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.

Измерение температуры в верхнем слое почвы. Для измерения температуры в верхнем слое почвы применяют **термометры ртутные метеорологические коленчатые (Савинова) ТМ-5**, которые выпускаются комплектом по четыре термометра для измерения температуры почвы на глубинах 5, 10, 15, 20 см (рис. 11). 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 находились в горизонтальном положении под слоем почвы, а часть термометра со шкалой располагалась над почвой.

От резервуара до начала шкалы термометр имеет термоизоляцию, состоящую из золы и ваты (это необходимо для того, чтобы температура вышележащих слоев почвы не влияла на показания термометра).

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

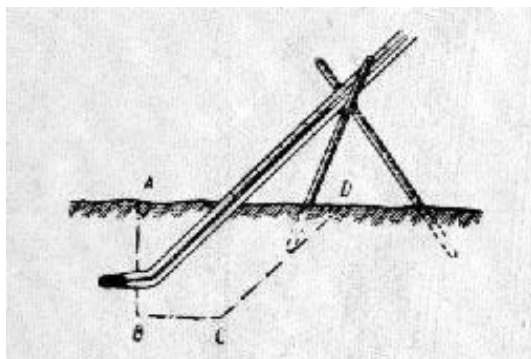


Рис. 11. Установка коленчатого термометра Савинова (ТМ-5)

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°С, а нижний - от -10 до -20°С. Цена деления шкалы 0,2°С, погрешность измерения при плюсовых температурах $\pm 0,2^\circ\text{C}$, при отрицательных $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

Термометр помещается в винипластовую оправу, снизу заканчивающуюся медным или латунным колпачком, заполненным вокруг резервуара термометра медными опилками. К верхнему концу оправы крепится деревянный стержень, с помощью которого термометр погружается в эбонитовую трубу, 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 резервуар термометра. Кроме этого, опилки увеличивают тепловую инерцию термометра, что необходимо для сохранения его показаний при извлечении из трубы и взятия отсчетов.

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 над поверхностью земли часть трубы составляет 40 см, при большей высоте снежного покрова - 100 см. Установку наружных (эбонитовых) труб производят с помощью бура, 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 превышает 15 см), на остальных глубинах - один раз в сутки. Кроме измерений температуры в зимнее время производятся отсчеты высоты снежного покрова по снегомерной рейке, установленной вблизи этих термометров.

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. Оправа состоит из стакана и двух трубок: наружной и внутренней.

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

ЗАДАНИЕ 1

ЗНАКОМСТВО С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ТЕРМОМЕТРАМИ

Используемое оборудование: срочный, максимальный и минимальный термометры, термометр-пращ, психрометрический термометр, термометры Савинова.

Порядок выполнения задания:

1. Осмотреть термометры, определить их вид, пределы измерения, цену деления шкалы. Сделать краткое описание термометров и способов работы с ними.

2. Сделать отсчет по срочному термометру. Затем нагреть рукой резервуар срочного термометра на 3-4 градуса. Отпустив руку, в течение 15 минут ежеминутно записывать отсчеты по срочному термометру, наблюдая его возвращение к состоянию равновесия с окружающим воздухом.

3. Ознакомиться с действием максимального термометра. Для этого нужно нагреть его рукой до 30-35⁰. Выждав 5-10 минут, сделать отсчет и записать его.

Затем взять термометр за середину резервуаром вниз и сильными движениями руки несколько раз встряхнуть его, пока его показания не станут соответствовать показаниям срочного термометра. Сделать отсчет после встряхивания.

4. Ознакомиться с действием минимального термометра. Для этого нужно охладить его резервуар каким-либо способом, например, смоченной холодной водой тряпочкой. Проследить за движением штифтика во время охлаждения. После охлаждения выждать, пока термометр вновь примет первоначальную температуру. Сделать отсчеты по штифтику и по столбику спирта, записать их.

Данные наблюдений записать в виде таблицы:

Вид термометра	Время наблюдений	Отсчет, °С
Срочный №	До нагрева	20,1
	После нагрева, 0 мин.	23,5
	1 мин.	
		
	15 мин.	
Максимальный №	До встряхивания	
	После встряхивания	
Минимальный №	Штифт	
	Спирт	

ЗАДАНИЕ 2

ЗНАКОМСТВО С ТЕРМОГРАФОМ

Используемое оборудование: термограф недельный, термограф суточный, термометр срочный.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомится с принципом действия прибора и назначением отдельных его частей. Вычертить схему термографа.

2. Подготовить термограф к работе:

- Отвести перо от барабана, действуя рычажком, и снять барабан с центральной оси;
- Взять чистую ленту и записать на ее обороте дату и место наблюдения;
- Одеть ленту на барабан;
- Завести часовой механизм и одеть барабан с лентой на ось;
- Наполнить перо чернилами, не переполняя его;
- Проверить нажим пера. Для получения хорошей записи трение пера о бумагу должно быть очень мало. Если при наклоне прибора на $30-40^0$ перо начинает отходить от барабана, то нажим пера отрегулирован правильно;
- С помощью регулировочного винта установить перо на деление, соответствующее показаниям образцового термометра;
- Повернуть барабан самописца так, чтобы положение пера на ленте соответствовало данному моменту времени, и в верхнем левом углу ленты отметить время начала записи с точностью до минуты;
- Для уничтожения "мертвого" хода барабана окончательное его вращение произвести рукой против часовой стрелки.

3. Выйти на крыльцо 4-го корпуса с суточным термографом и термометром и проследить за изменением показаний этих приборов, записывая их каждую минуту в течение 15 минут.

4. Проанализировать ленты суточного и недельного термографов.

ГЛАВА 6

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

Влажность воздуха и основные методы ее измерения

В атмосферном воздухе всегда содержится определенное количество водяного пара, содержание которого меняется по объему от 0 до 4%. Содержание Водяного пара характеризуется рядом величин, показателей:

Абсолютная влажность или плотность водяного пара (q) – количество водяного пара в одном кубическом метре воздуха, выраженное в граммах (г/м^3).

Упругость (давление) водяного пара (e), содержащегося в воздухе, выражается в миллибарах (мб) или миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

Упругость насыщения (E) – максимально возможная упругость водяного пара при данной температуре (в мм рт. ст. или мб).

Относительная влажность (f) – процентное отношение упругости водяного пара e , находящегося в воздухе, к упругости насыщения E при данной температуре.

Удельная влажность (s) – отношение плотности водяного пара q к плотности влажного воздуха ρ ; иными словами отношение массы водяного пара к общей массе влажного воздуха в том же объеме. Удельную влажность можно выразить количеством водяного пара в граммах, содержащегося в 1 кг влажного воздуха.

Дефицит влажности d – разность между максимально возможной при данной температуре упругостью водяного пара (упругостью насыщения) и фактической упругостью водяного пара.

Точка росы t_d – температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, достигает состояния насыщения.

Для измерения влажности воздуха применяются различные методы: абсолютный (весовой), психрометрический, определение влажности с помощью волосного или пленочного гигрометров, по точке росы и др.

Основным методом для измерения влажности воздуха, принятым на сети метеорологических станций, является **психрометрический метод**. Определение влажности этим методом осуществляется по показанию психрометра – прибора, состоящего из двух термометров. Приемная часть (резервуар) одного из психрометрических термометров обертывается батистом, находящимся в увлажненном состоянии (смоченный термометр). С поверхности резервуара смоченного термометра происходит испарение, на которое затрачивается тепло. Другой термометр психрометра – сухой – показывает температуру воздуха. Смоченный же термометр показывает собственную температуру, зависящую от интенсивности испарения воды с поверхности резервуара. Чем больше дефицит влажности, тем интенсивнее будет происходить испарение и, следовательно, тем ниже будут показания смоченного термометра.

Для измерения влажности воздуха используются два типа психрометров: стационарный и аспирационный.

Стационарный психрометр состоит из двух одинаковых термометров с делениями через $0,2^{\circ}$, установленных вертикально на штативе в психрометрической будке. Резервуар правого термометра плотно обертывается в один слой кусочком батиста, конец которого опускается в стакан с дистиллированной водой. Стакан закрывается крышкой с прорезью для батиста (рис. 12).

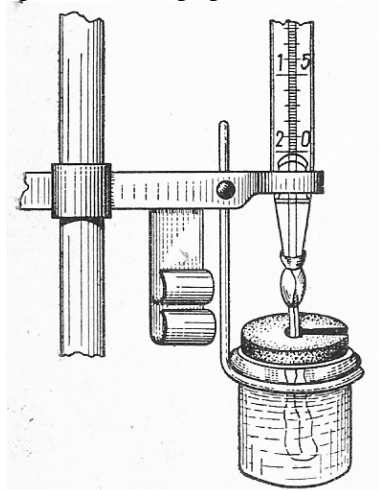


Рис. 12. Психрометрический стаканчик

Наблюдения по стационарному психрометру. Отсчеты по термометрам должны проводиться как можно быстрее, т.к. присутствие наблюдателя вблизи термометров может исказить их показания. Вначале отсчитывают и записывают десятые доли, а затем — целые градусы.

Наблюдения по психрометру проводятся при любой положительной температуре воздуха, а при отрицательной — только до -10^0 , т.к. при более низкой температуре результаты наблюдений становятся ненадежными. При температуре воздуха ниже 0^0 кончик батиста на смоченном термометре обрезается. Батист смачивают на 30 мин. до начала наблюдений, погружая резервуар термометра в стакан с водой.

При отрицательной температуре вода на батисте может быть не только в твердом состоянии (лед), но и в жидком (переохлажденная вода). Учет агрегатного состояния воды на резервуаре смоченного термометра весьма важен, т.к. максимальная упругость водяного пара, входящая в психрометрическую формулу, над водой и льдом различна.

Вычисление характеристик влажности воздуха по показаниям психрометра осуществляется с помощью психрометрических таблиц.

Аспирационный психрометр МВ-4М (психрометр Ассмана). Принцип действия аспирационного психрометра такой же, как и стационарного. Преимуществом этого психрометра является постоянная скорость движения воздуха (2 м/сек) у приемной части термометров, что достигается искусственной вентиляцией.

Прибор состоит из двух термометров с ценой деления 0,2, помещенных в металлическую оправу (рис. 13). Оправа состоит из трубки, раздваивающейся книзу, и боковых защит. Верхний конец трубки соединен с аспиратором, просасывающим наружный воздух через двойные трубки, в которых находятся резервуары термометров. Аспиратор имеет пружинный механизм. Пружина заводится ключом. Резервуар одного из термометров (правого) обернут коротко обрезанным батистом.

Никелированная и полированная поверхность психрометра хорошо отражает солнечные лучи. Поэтому для его установки не

требуется никакой дополнительной защиты и он устанавливается на открытом воздухе.

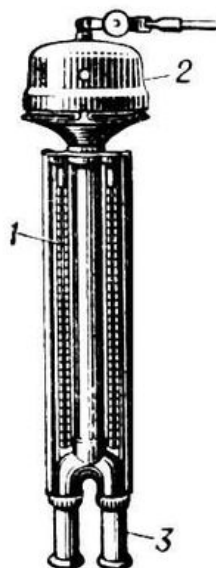


Рис. 13. Аспирационный психрометр:
1-сухой термометр; 2- аспиратор;
3- двойная трубка сухого термометра

Наблюдения по аспирационному психрометру. Перед наблюдением психрометр выносят из помещения зимой за 30 мин., а летом за 15 мин. Батист правого термометра смачивают с помощью резиновой груши с пипеткой летом за 4 мин., а зимой за 30 мин до срока наблюдений. После смачивания заводят аспиратор, который в момент отсчета должен работать полным ходом. Поэтому зимой за 4 мин. до отсчета нужно вторично завести психрометр. По истечении 4-5 мин. берут отсчет по сухому и смоченному термометрам, сначала десятые доли, а затем целые градусы.

Во время отсчета следует стоять так, чтобы движение воздуха (ветер) было направлено от прибора к наблюдателю, а не наоборот. В тех случаях, когда наблюдения проводятся при сильном ветре и прибор находится в вертикальном положении, скорость аспирации нарушается. Чтобы исключить это, на аспиратор с наветренной

стороны надевают ветровую защиту (при скорости ветра более 4 м/сек).

Характеристики влажности воздуха по данным аспирационного психрометра вычисляются также с помощью психрометрических таблиц.

Аспирационный психрометр является самым надежным прибором для определения температуры и влажности воздуха при положительной температуре. При производстве измерений его нельзя устанавливать вблизи сильно нагретых или значительно увлажненных поверхностей, т.к. в прибор может засасываться соприкасавшийся с ним воздух. Прибор лучше всего устанавливать на столбе всегда с подветренной стороны, чтобы воздух шел от прибора к столбу. Наблюдатель должен находиться с подветренной стороны.

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

Гигрометрический метод измерения влажности основан на способности тел адсорбировать (поглощать) водяной пар из воздуха и в результате этого деформироваться или менять физические свойства. Приборы, основанные на гигрометрическом методе, называются гигрометрами. **Гигрометр** - от *гигро...* - вода и *...метр* - измеряю. Существует несколько типов гигрометров, действие которых основано на различных принципах: весовой, волосной, плёночный и др.

Гигрометр весовой (абсолютный) состоит из системы U-образных трубок, наполненных гигроскопическим веществом, способным поглощать влагу из воздуха. Через эту систему насосом протягивают некоторое количество воздуха, влажность которого определяют. Зная массу системы до и после измерения, а также объём пропущенного воздуха, находят абсолютную влажность.

Гигрометр волосной метеорологический М-19 (МВ-1). Предназначен для измерения относительной влажности воздуха и наиболее распространен на сети метеорологических станций.

Основной частью волосного гигрометра является обезжиренный (обработанный в эфире и спирте) человеческий волос, обладающий свойством изменять свою длину под влиянием

изменения относительной влажности. При уменьшении относительной влажности волос, укрепленный на раме, укорачивается, при увеличении удлиняется. Волос 1 (рис. 14) натянут на металлическую рамку 2. Изменение длины волоса передаётся стрелке 3, перемещающейся вдоль шкалы 4.

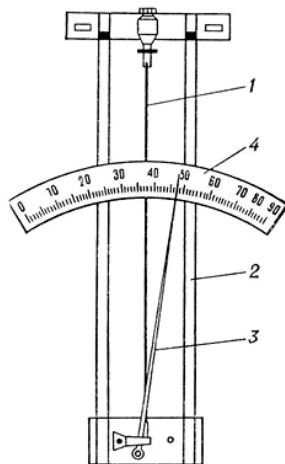


Рис. 14. Волосной гигрометр:

1- волос; 2- рамка; 3- стрелка; 4- шкала.

Цена деления шкалы гигрометра – 1% относительной влажности. Деления на шкале неравномерны: при небольших значениях влажности они крупнее, а при больших – мельче. Применение такой шкалы обусловлено тем, что изменение длины волоса идет быстрее при малых величинах влажности и медленнее при больших ее значениях.

Гигрометр рассчитан на работу при температурах окружающего воздуха от -50° до $+50^{\circ}$.

Гигрометр пленочный метеорологический М-39 имеет чувствительный элемент из органической плёнки, которая растягивается при повышении влажности и сжимается при понижении. Изменение положения центра плёночной мембраны 1 (рис. 15) передаётся стрелке 2. Гигрометр рассчитан на работу в диапазоне температур от -60° до $+35^{\circ}$. Он хорошо работает в климатических условиях с низкой температурой и высокой относительной влажностью (Антарктида, Арктика).

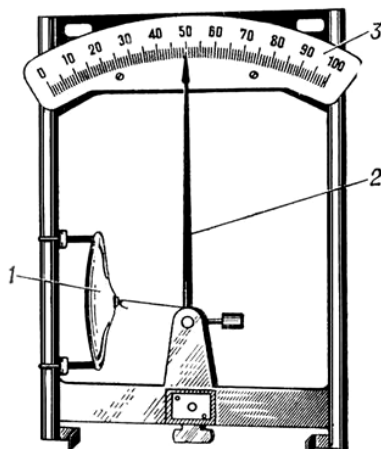


Рис. 15. Пленочный гигрометр: 1- мембрана; 2-стрелка; 3- шкала.

На метеостанциях волосной (или пленочный) гигрометр устанавливается рядом с психрометром в психрометрической будке. Отсчет по гигрометру, с точностью до целого деления, проводится сразу же после отсчета по психрометрическим термометрам, чтобы разница во времени между наблюдениями была возможно меньше.

При продолжительном действии гигрометры становятся менее чувствительными к изменению влажности: волос вытягивается и загрязняется, а пленка загрязняется. Учитывая это, приходится часто сверять прибор с психрометром и находить его поправки.

Используются также электролитические, керамические, конденсационные гигрометры.

Гигрограф метеорологический М-21 предназначен для непрерывной регистрации относительной влажности воздуха (рис. 16). Приемной частью волосного гигрографа является пучок обезжиренных человеческих волос 1, прикрепленный к раме, изменение длины которого с помощью системы рычагов 3,4 передается на стрелку 5 с пером 6 на конце. В средней части пучок оттянут при помощи крючка 2, соединенного с осью криволинейного рычага 3, вращающегося около горизонтальной оси. Рычаги гигрографа криволинейные, что обеспечивает

равномерное перемещение пера на ленте при неравномерном изменении длины пучка волос. Таким образом, деления на ленте по всей шкале влажности в отличие от шкалы гигрометра остаются одинаковыми.

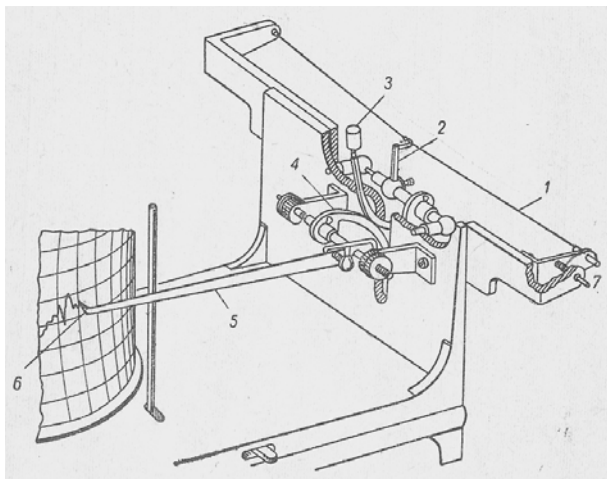


Рис. 16. Гигрограф

Для регулировки пера гигрографа служит винт 7, с помощью которого можно сблизить между собой концы пучка волос, или, наоборот, удалить их друг от друга и тем самым сместить перо на ленте. Отвод стрелки с пером от барабана часового механизма 6 для прекращения записи и съема барабана при смене ленты осуществляется поворотом отвода стрелки до упора против часовой стрелки. Опускание пера на поверхность барабана осуществляется поворотом отвода до упора в обратном направлении. Прибор снабжен приспособлением – отметчиком, при помощи которого, не открывая крышки, легким нажимом на кнопку, находящуюся на торцевой стенке корпуса, можно делать на диаграммной ленте отметки (засечки) времени наблюдений. Регистрирующая часть гигрографа устроена так же, как и у других самописцев. Запись производится на ленте, надетой на барабан с часовым механизмом. В зависимости от скорости оборота барабана гигрограф может быть суточным и недельным.

ЗАДАНИЕ 1

ЗНАКОМСТВО С ПСИХРОМЕТИРИЧЕСКИМИ ТАБЛИЦАМИ

Используемое оборудование: психрометрические таблицы.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с психрометрическими таблицами путем проработки пояснений к ним и разбора примеров.

2. Пользуясь психрометрическими таблицами, определить характеристики влажности воздуха (t_d , e , f , d , E) для следующих случаев:

Вид психрометра	Агрегатное состояние воды на батисте	t^0	t'^0	$P, \text{мб}$	t_d^0	$e, \text{мб}$	$f, \%$	$d, \text{мб}$	$E, \text{мб}$
Волосной гигрометр	-	- 22,7	-	-			88		
Станционный	лед	-4,2	-5,0	1028					
Станционный	вода	-4,2	-5,0	1028					
Станционный	-	18,8	13,5	959					
Аспирационный		25,8	19,5	980					
Аспирационный		5,0	2,9	1020					

Контрольные вопросы:

1. Почему при наблюдениях по психрометрам необходимо учитывать агрегатное состояние воды на батисте?

2. При каких значениях атмосферного давления поправка к упругости водяного пара вводится со знаком плюс и почему?

3. Вводится ли поправка на давление к упругости водяного пара при наблюдениях по аспирационному психрометру?

Отчет по заданию должен содержать:

1. Выполненные примеры.

2. Ответы на контрольные вопросы.

ЗАДАНИЕ 2

НАБЛЮДЕНИЯ ПО АСПИРАЦИОННОМУ ПСИХРОМЕТРУ

Используемое оборудование: аспирационный психрометр, дистиллированная вода, пипетка для смачивания, штатив для укрепления психрометра, барометр, психрометрические таблицы.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с устройством и зарисовать схему аспирационного психрометра, на которой показать стрелками пути движения воздуха в приборе.

2. Укрепить психрометр в штативе и провести наблюдения в аудитории, в подвале и на верхнем этаже 6-го корпуса, на улице, для чего необходимо проделать следующее:

- набрать в резиновую грушу воду, надеть на нее зажим, подогнать воду в пипетке до указанной метки на стекле. Затем ввести пипетку в трубочку, где находится резервуар термометра, обвязанного батистом. Выждав 3-5 сек, для того чтобы батист пропитался водой, открыть зажим и тем самым опустить воду в грушу;

- после смачивания завести ключом вентилятор и заметить по часам время. Через 4 мин после смачивания и завода сделать отсчеты. При наблюдениях быстро отсчитывают и записывают десятые доли градусов и только после этого целые градусы;

- снять отсчет по барометру;

- найти в паспорте к психрометру (*прилож. 3*) инструментальные (шкаловые) поправки термометров и ввести их к показаниям термометров (пример паспорта психрометра представлен в приложении);

- по исправленным показаниям сухого и смоченного термометров и по величине атмосферного давления с помощью психрометрических таблиц определит характеристики влажности воздуха;

- результаты наблюдений записать в виде таблицы:

Дата.....

Место измерений	Давление	Аспирационный психрометр						Характеристики влажности				
		Сухой термометр			Смоченный термометр			t_d	e	f	d	E
		1	2	3	1	2	3					
Аудитория												
Подвал 6-го корпуса												
6 этаж 6-го корпуса												
Улица												

1 – отсчет; 2 – поправка; 3 – исправленное значение.

ЗАДАНИЕ 3

ЗНАКОМСТВО С ВОЛОСНЫМ ГИГРОМЕТРОМ

Используемое оборудование: волосной гигрометр, аспирационный психрометр, психрометрические таблицы.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с устройством гигрометра и зарисовать его схему. Указать, в каких единицах проградуирована шкала гигрометра.
2. Установить гигрометр в аудитории в вертикальном положении на высоте 1-1,5 метра. Рядом с ним установить аспирационный психрометр.
3. Смочить батист, включить аспиратор психрометра и через 4 минуты снять показания сухого и смоченного термометров. Записать в таблицу наблюдений показания этих термометров и показания гигрометра.
4. Выйти с приборами на открытый воздух (но не на прямой солнечный свет!) и провести 5 последовательных серий наблюдений аналогично первой. Для каждой серии обязательно записывать, в какой момент времени проводились наблюдения (часы и минуты).

5. С помощью психрометрических таблиц по показаниям сухого и смоченного термометров найти относительную влажность воздуха. Записать ее значения в таблицу наблюдений. Определить величину различий в показаниях гигрометра и психрометра. Сделать выводы.

Форма записи наблюдений:

Время наблюдений	Место наблюдений	Показания гигрометра	Показания сухого термометра	Показания смоченного термометра	Относительная влажность по психром. табл.

ЗАДАНИЕ 4

ЗНАКОМСТВО С УСТРОЙСТВОМ ГИГРОГРАФА

Используемое оборудование: гигрограф, психрометр, неиспользованная лента гигрографа, ленты с записью недельного и суточного гигрографов.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с устройством прибора, зарисовать схему приемной части гигрографа и передаточного механизма.
2. Наложить ленту на барабан. Для этого вначале сделать необходимые надписи: на обратной стороне ленты указать пункт наблюдения, номер прибора и дату установки ленты.
3. Поставить перо на деление ленты, соответствующее величине относительной влажности, полученной в результате наблюдений по психрометру. Для этого нужно ключом повернуть регулировочный винт.
4. Придвинуть вертикальный стержень так, чтобы перо прикоснулось к ленте.
5. Время установки (часы и минуты) пометить на лицевой стороне ленты.
6. Уничтожить мертвый ход барабана.
7. Проанализировать ленты с записями недельного и суточного гигрографов.

ГЛАВА 7

ОБЛАЧНОСТЬ

Классификация облаков

Наблюдения за облачностью состоят в определении количества облаков, их форм и высоты над уровнем станции.

Облака являются продуктами конденсации или сублимации водяного пара в атмосфере. Конденсация водяного пар происходит лишь в том случае, когда воздух достигает насыщения, т.е. когда упругость водяного пара e достигает предельно возможного при данной температуре значения E . Состояние насыщения обычно наступает вследствие понижения температуры воздуха ниже точки росы.

Охлаждение воздуха в основном осуществляется адиабатически при подъеме воздуха или путем излучения. Особенно большое значение для облакообразования имеет адиабатическое охлаждение, которое может быть вызвано следующими процессами:

1) конвекцией внутри воздушных масс; 2) восходящим скольжением теплого воздуха по наклонной фронтальной поверхности, разделяющей две воздушных массы; 3) волновыми движениями на поверхности раздела двух различных по физическим свойствам слоев воздуха; 4) турбулентным перемешиванием в атмосфере.

Часто возникновение облаков является результатом одновременного действия нескольких процессов. Многие формы облаков образуются также в результате перехода первоначально образовавшихся форм в другие в процессе их дальнейшего развития или распада.

Многообразие процессов, связанных с образованием облаков, обуславливает существование большого количества их форм, а следовательно, и необходимость их классификации. При метеорологических наблюдениях принята морфологическая (по внешнему виду) международная классификация облаков,

включающая 10 родов, которые в свою очередь подразделяются на ряд видов и разновидностей:

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| 1.Перистые-Cirrus | (циррус) - Ci |
| 2.Перисто-кучевые-Cirrocumulus | (циррокумулюс) - Cc |
| 3.Перисто-слоистые-Cirrostratus | (цирростратус) - Cs |
| 4.Высококучевые-Alto cumulus | (альтокумулюс) - Ac |
| 5.Высокослоистые-Altostratus | (альтостратус) - As |
| 6.Слоисто-дождевые-Nimbostratus | (нимбостратус) - Ns |
| 7.Слоисто-кучевые-Stratocumulus | (стратокумулюс) - Sc |
| 8.Слоистые-Stratus | (стратос) - St |
| 9.Кучевые-Cumulus | (кумулюс) - Cu |
| 10.Кучево-дождевые-Cumulonimbus | (кумулонимбус) - Cb |

Перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые облака располагаются в верхнем ярусе тропосферы – в умеренных широтах от 5 до 13 км. Высококучевые – в среднем ярусе, в умеренных широтах от 2 до 7 км. Высокослоистые облака обычно наблюдаются в среднем ярусе, но могут проникать и в верхний. Слоисто-дождевые почти всегда наблюдаются в нижнем ярусе, но, как правило, распространяются и в другие. Слоисто-кучевые и слоистые облака возникают в нижнем ярусе – от земной поверхности до 2км. У кучевых и кучево-дождевых облаков основания располагаются обычно в нижнем ярусе, но вертикальное развитие их таково, что их вершины могут проникать в средний и даже в верхний ярусы.

1. Перистые облака – Cirrus (Ci) – белые, тонкие, волокнистые без теней, имеющие вид нитей, пучков, перьев, иногда загибающихся в виде когтей (рис. 1А прилож. 4). Они часто располагаются в виде полос, идущих через все небо и сходящихся у горизонта. Возникают они в самой верхней части тропосферы, в умеренных широтах на высоте от 7 до 13 км, а в тропиках – до 18 км и состоят из ледяных кристаллов.

Наиболее часто встречающимися видами перистых облаков являются *перистые нитевидные* – *Cirrus fibratus* (Ci fib), *Cirrus filus* (Ci fil). Нити могут располагаться более или менее параллельно (над поверхностью фронта), или причудливо перепутанными клубками.

Часто встречаются также *плотные перистые облака* – *Cirrus spissatus* (Ci spi), имеющие многочисленные белые уплотнения неправильной формы. Нитевидное строение у них выражено менее резко, чем у перистых нитевидных. Плотные перистые облака часто являются остатками вершин распадающихся кучево-дождевых облаков.

2. Перисто-кучевые облака – *Cirrocumulus* (Cc) – представляют собой мелкие полупрозрачные хлопья или барашки, образующие слои или параллельные гряды, располагающиеся выше 5-6 км (рис. 1Б прилож. 4). Эти облака малоустойчивы и довольно быстро появляются, видоизменяются и исчезают. Вне связи с перистыми или перисто-слоистыми они наблюдаются редко. Образуются перисто-кучевые облака при возникновении волновых или конвективных движений в верхней тропосфере и состоят также из ледяных кристаллов.

3. Перисто-слоистые облака – *Cirrostratus* (Cs) – тонкая, беловатая пленка, которая не размывает контуров солнечного или лунного диска (рис. 2А прилож. 4). Эти облака также кристаллические. При наличии перисто-слоистых облаков вокруг солнца и луны образуются так называемые гало – большие светлые круги. Это оптическое явление возникает в результате преломления солнечных лучей в кристаллах облаков. Перисто-слоистые облака почти всегда наблюдаются одновременно с перистыми или после них, на тех же или несколько меньших высотах. Появление перисто-слоистых облаков служит признаком ухудшения погоды. Довольно часто они бывают, видны и по окончании пасмурной и дождливой погоды. Эти облака образуются вследствие адиабатического охлаждения воздуха при его восходящем движении в верхней тропосфере, в зоне атмосферных фронтов. Они особенно характерны для теплых фронтов окклюзии.

4. Высококучевые облака – *Alto cumulus* (Ac) – обычно образуют полосы, гряды или слои облаков с просветами голубого

неба, большей частью белого или серого цвета, иногда в форме крупных барашков – это разновидность *просвечивающие высококучевые облака* – *Alto cumulus translucidus* (Ac tr). Иногда высококучевые облака уплотняются и смыкаются в сплошной покров с волнистой структурой, сквозь которой солнце не просвечивает – это разновидность *высококучевых плотных* – *Alto cumulus opacus* (Ac op). Имеется еще много видов и разновидностей этих облаков (*рис. 2Б прилож. 4*). Высококучевые облака состоят преимущественно из мелких переохлажденных капель. Их высота в умеренных широтах 2-6 км. Эти облака сами по себе никогда не ведут к ухудшению погоды и осадков не дают. Однако они часто бывают спутниками других, более мощных облаков.

Образование высококучевых облаков обусловлено в основном волновыми движениями под инверсиями, в частности, перед холодными фронтами и фронтами окклюзии, волновыми движениями на слабо наклонных фронтальных поверхностях и над горными препятствиями. А также конвективными движениями в слоях выше 2км.

5. Высокослоистые облака – *Altostratus* (As) образуют чаще всего сплошной ровный или волнистый, серый или синеватый покров, значительно более плотный и низкий, чем покров перистослоистых облаков; явления гало в них не наблюдаются. Солнце и луна сквозь такой покров видны, как через матовое стекло, и теней не дают (*рис. 3А прилож. 4*). Такие облака называются *высокослоистыми просвечивающими* – *Altostratus translucidus* (Ac tr). Более плотные облака, непрозрачные для лучей солнца, называются *высокослоистыми плотными* – *Altostratus opacus* (As op). Образуются они в слоях от 2 до 7 км; толщина их может достигать 2-3 км и более. Эти облака состоят из мелких снежинок и переохлажденных капелек.

Осадки из высокослоистых облаков выпадают, но летом обычно не доходят до земной поверхности, испаряясь в подоблачном слое воздуха. Зимой даже тонкие высокослоистые облака дают снег. В системе облаков теплого фронта высокослоистые облака надвигаются после перистослоистых и, уплотняясь, переходят в слоисто-дождевые. В облачной системе

холодного фронта они приходят после слоисто-дождевых и, постепенно утончаясь, переходят в перисто-слоистые.

6. Слоисто-дождевые облака – Nimbostratus (Ns) – представляют собой при наблюдении с низу бесформенный сплошной серый облачный покров, из которого выпадают обложные осадки (дождь или снег) (*рис. 3Б прилож. 4*). Солнце и луна сквозь них не просвечивают. Одни слоисто-дождевые облака наблюдаются редко, чаще под их слоем образуются разорванные слоистые облака, частично или полностью скрывающие основной слой слоисто-дождевых, основание которых обычно находится в пределах нижнего километра. Толщина этих облаков порядка нескольких километров. Они состоят из капель и ледяных кристаллов. При отрицательных температурах капли находятся в переохлажденном состоянии.

Слоисто-дождевые облака образуются в результате охлаждения воздуха при восходящем движении над поверхностью фронта.

7. Слоисто-кучевые облака – Stratocumulus (Sc) – образуют крупные и довольно низко расположенные волны, гряды или глыбы сероватого или серого цвета, располагающиеся обычно правильными рядами (*рис. 4А прилож. 4*). Иногда между ними бывают просветы голубого неба – это *просвечивающие слоисто-кучевые облака* – Stratocumulus translucidus (Sc tr). В других случаях они образуют сплошной темно-серый покров, состоящий из валов или крупных глыб – *плотные слоисто-кучевые облака* – Stratocumulus opacus (Sc op) (*рис. 4Б прилож. 4*).

Слоисто-кучевые облака состоят преимущественно из мелких капелек воды, зимой переохлажденных. Просвечивающие слоисто-кучевые облака осадков никогда не дают и не являются признаком ухудшения погоды. Наоборот, они часто образуются при хорошей устойчивой и тихой погоде; в этом случае их образование свидетельствует только о большой влажности воздуха. Плотные слоисто-кучевые облака очень часто наблюдаются в ненастную погоду, когда они сопровождают более мощные облака (слоисто-дождевые или кучево-дождевые), дающие осадки.

Слоисто-кучевые облака образуются в результате возникновения волновых движений в слоях инверсий,

расположенных ниже 2 км, растекания кучевых облаков в слое под инверсиями ниже 2 км, а также вечером в связи с ослаблением конвекции. Слоисто-кучевые облака, возникшие в результате растекания кучевых называются *слоисто-кучевыми, образовавшимися из кучевых* – *Stratocumulus cumulogenitus* (Sc cug).

8. Слоистые облака – Stratus (St) – представляют собой однородный слой серого цвета, сходный с туманом, приподнятым над поверхностью земли (*рис. 5А прилож. 4*). Обычно они закрывают все небо. Основание этих облаков располагается на высотах порядка нескольких десятков или сотен метров; иногда они сливаются с неземным туманом. Толщина их невелика – десятки и сотни метров.

Слоистые облака состоят из мельчайших капелек воды, при отрицательных температурах – переохлажденных. В них могут находиться и мелкие ледяные кристаллы. Из этих облаков может выпадать морось, а зимой – снежные зерна и ледяные иглы.

К виду слоистых облаков относятся *слоистые разорванные* – Stratus fractus (St fra). В качестве разновидности слоистых разорванных облаков выделяются так называемые разорванно-дождевые – Fractonimbus (Fr nb). Это низкие, темно-серые, разорванные облака плохой погоды. Они образуются вследствие турбулентных движений под слоем облаков, дающих осадки высокосоистых, слоисто-дождевых, и встречаются лишь в сочетании с этими облаками. Сами они осадков не дают, а только пронизываются осадками, выпадающими из вышележащих облаков.

Слоистые облака образуются преимущественно в нижних слоях однородных воздушных масс. Основными процессами, приводящими к их образованию, являются: 1) охлаждение относительно теплого воздуха при движении над холодной подстилающей поверхностью; 2) радиационное выхолаживание в ночное время суток; 3) перенос водяного пара турбулентными движениями вверх в подинверсионный слой.

9. Кучевые облака – Cumulus (Cu) – представляют собой плотные, отдельно расположенные, развитые по вертикали облачные массы с белыми куполообразными вершинами и с плоскими сероватыми или синеватыми основаниями. При сильном

порывистом ветре края кучевых облаков могут быть разорванными. Высота основания над поверхностью земли 1-2 км. Эти облака состоят из капель воды, которые при отрицательных температурах находятся в переохлажденном состоянии. В умеренных широтах осадки из кучевых облаков обычно не выпадают; в тропиках из них могут выпасть слабые осадки.

При слабой конвекции или при наличии инверсии на невысоком уровне образуются кучевые облака, малоразвитые по вертикали. *Это плоские кучевые облака – Cumulus humilis (Cu hum)* – высота которых меньше горизонтальных размеров (*рис. 5Б прилож. 4*). Они служат признаком хорошей устойчивой погоды и появляются обычно днем; вечером растекаются, превращаясь в слоисто-кучевые, а к ночи исчезают совсем.

Одним из видов кучевых облаков являются *кучевые разорванные облака – Cumulus fractus (Cu fra)*. Это белые, клочковатые, разорванного вида облака. Плоские основания у них выражены не четко или вообще отсутствуют. Эти облака предшествуют появлению плоских кучевых или являются продуктами их распада.

Интенсивное развитие конвекции приводит к возникновению кучевых облаков, сильно развитых по вертикали. Вершины этих облаков белые и сильно клубятся (*рис. 6А прилож. 4*). Это *мощные кучевые облака – Cumulus congestus (Cu cong)*. При особенно сильном развитии конвекции они не остаются изолированными массами, а сливаются в большие группы, при дальнейшем развитии превращаясь в кучево-дождевые облака.

10. *Кучево-дождевые облака – Cumulonimbus (Cb)* – мощные облачные образования, создающиеся в результате особенно сильного развития кучевых облаков, поднимающихся в виде гор или башен высотой в несколько километров (*рис. 6Б прилож. 4*). Верхние части таких облаков имеют волокнистую структуру и кристаллическое строение, подобное перистым облакам. Эти верхние части нередко проникают в самые высокие слои тропосферы; при наблюдении издали они часто напоминают форму наковален. В нижних частях эти облака состоят из капель воды, иногда в смеси с ледяными ядрами крупы, града или осежинок.

Кучево-дождевые облака дают ливневые осадки (дождь, снег, крупу, град) и летом часто сопровождаются грозами. Прохождение их всегда вызывает резкие изменения погоды: темнеет, поднимается резкий шквалистый ветер, выпадают ливневые осадки.

Эти облака образуются вследствие адиабатического охлаждения воздуха при мощном восходящем движении (конвективном или на фронтах).

Определение количества и формы облаков

Определение количества облаков, т.е. степени покрытия неба облаками, производится визуально по десятибалльной шкале. Необходимо оценить, сколько десятых долей небесного свода занято облаками, считая просветы между облаками как небо, свободное от облаков. Балл «0» ставится при отсутствии облаков, а также в том случае, когда облаками покрыто менее 0,5 баллов. Если облака закрывают 0,1 небосвода, количество облаков равно 1, 0,2 - 2 баллам и т.д., при полном покрытии неба облаками ставится 10 баллов.

При наблюдениях сначала оценивается общее количество облаков, а затем отдельно дается оценка количеству облаков нижнего яруса, включая облака вертикального развития. Запись проводится в виде дроби: в числителе указывается общая, а в знаменателе – нижняя облачность. Если количество облаков незначительно, но имеются отдельные облака, не оставляющие 0,5 балла, то в графе «количество» облаков ставится 0/0, а в графе «форма» указывается соответствующий род и вид облаков и слово «следы» (сл.), например 0/0 Ci (сл.).

Формы облаков определяются с помощью Атласа облаков и обозначаются названиями по принятой классификации. При заполнении графы «форма облаков» сначала указываются облака, занимающие большую часть неба; затем переходят к следующим в порядке убывания их видимого количества. Форма облаков отмечается в том случае, когда они по количеству составляют не менее 0,5 баллов.

Для определения высоты нижней границы облаков применяется импульсивный измеритель высоты облаков (ИВО).

При отсутствии ИВО она определяется с помощью шара-пилота, а в темное время - с помощью потолочного прожектора. Если инструментальным методом определить высоту облаков невозможно, тогда высота нижней границы оценивается визуально.

ЗАДАНИЕ

ЗНАКОМСТВО С КЛАССИФИКАЦИЕЙ ОБЛАКОВ И ПРОИЗВОДСТВОМ НАБЛЮДЕНИЙ НАД ОБЛАЧНОСТЬЮ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ОБЛАКОВ

Используемое оборудование: атлас облаков.

Порядок выполнения задания:

1. По атласу и приведенному описанию ознакомиться с основными формами и видами облаков.
2. Выписать и запомнить 10 основных родов облаков, а также виды и разновидности, указанные в описании.
3. Выписать формы облаков, дающие осадки, и указать вид осадков, характерный для каждой из этих форм (ливневые, обложные, моросящие).
4. Перечислить характерные формы облаков, образующиеся внутри воздушных масс.
5. Указать формы облаков, возникающие на теплом и холодном фронтах.
6. Определить и записать количество и формы облаков на небе в день занятий.

ГЛАВА 8

ОСАДКИ И ДРУГИЕ АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Атмосферные осадки разделяются на две основные группы: осадки, выпадающие из облаков, - дождь, снег, град, крупа, морось и др.; осадки, образующиеся на поверхности земли и на предметах в результате непосредственной конденсации или сублимации водяного пара из воздуха, - роса, иней, изморозь, гололед.

На метеорологических станциях измеряют количество выпавших осадков первой группы и регистрируют начало, конец и интенсивность всех видов осадков (как первой, так и второй группы).

Количество жидких и твердых атмосферных осадков измеряют высотой слоя воды (в мм), образованного осадками на горизонтальной (непроницаемой) поверхности. Интенсивность осадков измеряется в миллиметрах в минуту. Основными приборами для измерения количества осадков являются **осадкомер Третьякова** и **плювиограф П-2**.

Осадкомер Третьякова (рис. 17) предназначен для сбора жидких и твердых осадков для их последующего измерения.

Приемный сосуд осадкомера выполнен в виде цилиндрического ведра, перегородженного в средней его части конусообразной диафрагмой с отверстием посередине. Площадь приемного 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 съемным колпачком. Колпачок на носике и диафрагма, с вставленной в нее воронкой, служат для предохранения собранных осадков от испарения, что особенно важно 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 твердых 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. С северной стороны от осадкомера находится стремянка.

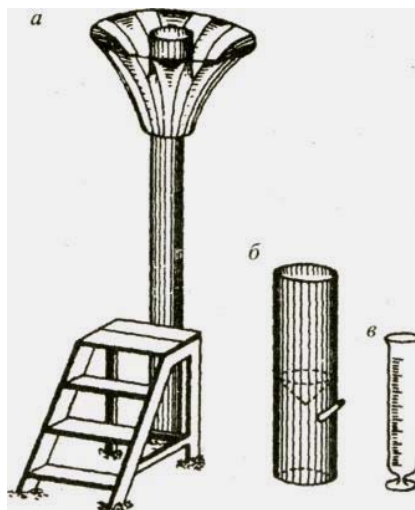


Рис. 17. Осадкомер Третьякова: *а* - общий вид; *б* - осадкомерное ведро; *в* - измерительный стакан

Измерение осадков производится два раза в сутки для получения количества осадков за дневную и ночную половину суток - в 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 приемного 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 частичное их испарение: для осадков твердых в количестве более 0,5 мм поправка +0,1 мм; для жидких осадков до 0,5 мм поправка +0,1 мм, более чем 0,5 мм поправка +0,2 мм.

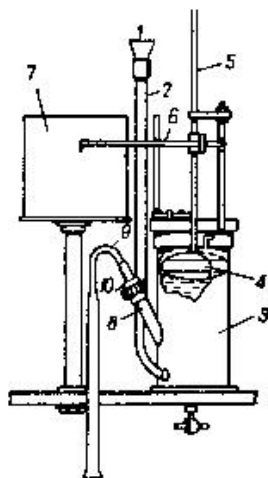
Плювиограф П-2 (рис. 18А). Плювиограф предназначен для непрерывной регистрации количества, продолжительности и интенсивности жидких осадков.

В качестве приемника осадков служит открытый цилиндрический сосуд с воспринимающей площадью 500 см². Собирающаяся в этом сосуде вода стекает по трубке в расположенный ниже водосборный сосуд, в котором помещен 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. 18Б). При отсутствии осадков перо чертит горизонтальную линию.

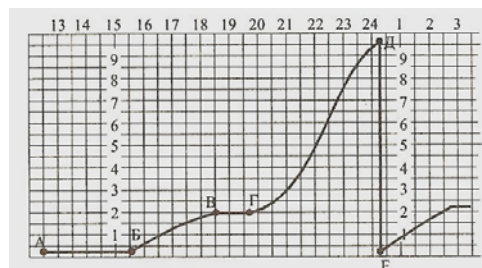
По плювиограмме (графику на ленте) можно установить начало и конец, количество, продолжительность осадков, а также их интенсивность, т.е. количество в единицу времени (мм/мин).

Плювиограф устанавливается на одной площадке с осадкомером на подставке с таким расчетом, чтобы верхний край прибора находился на высоте 2 метра от поверхности земли. Для придания плювиографу устойчивости его крепят с помощью трех металлических растяжек. Осенью, с прекращением выпадения жидких осадков, из плювиографа вынимают барабан и поплавковую камеру, а приемную часть закрывают крышкой.

Для измерения количества выпавших осадков используют также **дождемер со сплошной защитой и полевой дождемер Ф.Ф. Давитая.**



А



Б

Рис. 18. А - устройство плувиографа (1 – вращающийся барабан ; 2- водосливная труба; 3-водосборный сосуд; 4- поплавок; 5- стержень поплавка; 6- держатель стержня поплавка; 7- стрелка-перо; 8,9,10 – составные части сифона); Б - образец записи плувиографа

Осадки, образующиеся на поверхности земли и на предметах, оцениваются на метеорологических станциях визуально, при этом регистрируют начало и конец явления, его интенсивность.

Роса представляет собой мелкие капельки воды, появляющиеся на почве, траве и горизонтальных предметах в ночное время суток при положительной температуре. Образование росы обусловлено конденсацией водяного пара из воздуха в результате радиационного излучения и охлаждения земной поверхности.

На метеостанциях определяют время появления росы, количество выпавшей росы в миллиметрах слоя воды, моменты достижения максимального значения и исчезновения. Эти характеристики получают с помощью самописца росы – **росографа**. Он основан на принципе взвешивания росы, выпавшей

на приемную поверхность. Измерительным прибором являются весы.

Иней - это твердый мелкокристаллический осадок, образующийся, как и роса, на горизонтальных поверхностях в результате их радиационного выхолаживания, но при отрицательной температуре.

Изморозь - белый, рыхлый осадок кристаллического или зернистого строения, наблюдающийся на ветвях деревьев, проводах и других предметах в морозную погоду при слабых ветрах. Условиями, благоприятствующими образованию кристаллической изморози, является наличие ледяного тумана или игл, парящих в воздухе, когда относительная влажность близка к 100%. В этом случае кристаллы, уже осевшие на предметах, являются ядрами сублимации, вокруг которых происходит быстрое нарастание пушистой бахромы из ледяных кристаллов, легко осыпающихся при прикосновении к ним. Кристаллическая изморозь наблюдается чаще всего при температуре воздуха ниже -15° . Зернистая изморозь образуется вследствие намерзания на предметах переохлажденных капель тумана. Ее нарастанию способствуют большие скорости ветра, густой туман и небольшой мороз (чаще от -2 до -7°).

Гололед - слой матового или прозрачного льда, нарастающего на поверхности земли и различных предметах вследствие замерзания капель переохлажденного дождя или мороси. Обычно гололед бывает при слабых морозах (от 0 до -5°). Иногда образование гололеда наблюдается и при положительной температуре воздуха, когда происходит резкая смена воздушных масс. На поверхности охлажденных предметов, имеющих отрицательную температуру, выпадают дождь или роса, которые тотчас же замерзают.

При гололедно-изморозевых явлениях определяют вид гололедно-изморозевого отложения; продолжительность обледенения (время начала и окончания явления); размеры отложения на проводе; масса отложения на одном метре провода; ход развития процесса гололедно-изморозевого отложения. Наблюдения проводятся на **гололедном станке**, расположенном в северной части метеоплощадки. Станок состоит из трех стоек с

укрепленными на них двумя парами проводов, которые служат приемниками отложений льда.

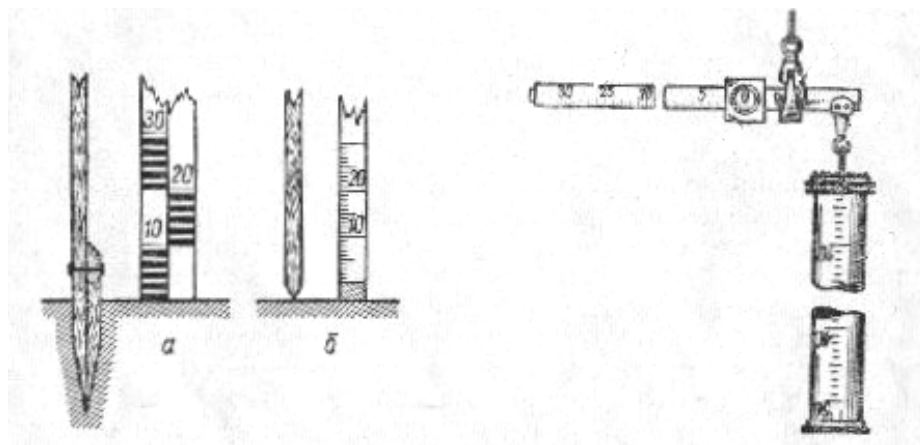
Основными величинами, характеризующими **снежный покров**, являются его высота и плотность. Наблюдения за снежным покровом – это ежедневные наблюдения за изменениями снежного покрова и периодические ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки для определения снегонакопления и запаса воды в снеге на элементах 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 оценивается по 10-бальной 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: замерзшая, оттаявшая. Оценивается структура снега: снег свежий, пушистый, липкий, рассыпчатый и др.

Высоту снежного покрова при ежедневных наблюдениях измеряют по трем **постоянным снегомерным рейкам**, установленным в середине метеоплощадки в вершинах треугольника со сторонами около 10 м. отсчеты берутся с точностью до 1 см. Высота снежного покрова вычисляется как средняя из отсчетов по трем рейкам.

Постоянная снегомерная рейка представляет собой деревянный брусок длиной около 2 м и шириной не менее 5 см, размеченный и раскрашенный на сантиметровые деления (*рис. 19 Аа*) осенью при установке рейки вбивают в землю деревянный заостренный снизу брусок длиной 30-40 см с запиленной ступенькой, которая должна находиться на уровне земной поверхности. На эту ступеньку устанавливают рейку, плотно прикрепив ее к бруску. При ежедневных наблюдениях в утренние часы берется отсчет по рейке с точностью до 1 см. Ежедневные наблюдения производятся в срок, ближайший к 8 ч поясного декретного (зимнего) времени.

Основная цель маршрутных снегосъемок – определение запасов воды в снежном покрове. На маршруте измеряют высоту снежного покрова и плотность снега. Съёмки проводятся на основных формах ландшафта. Длина полевого маршрута 2000 или 1000 м. Обычно маршрутные снегосъемки производят еженедельно, а в период максимума снегозапасов и снеготаяния – 1 раз в 5 дней. Высоту снежного покрова при этом измеряют **переносной снегомерной рейкой** (рис.19Аб), плотность снега – **весовым снегомером** (рис.19Б).



А

Б

Рис. 19. А – снегомерная рейка (а - постоянная; б – переносная);
Б – весовой снегомер

Переносная снегомерная рейка – это деревянный прямоугольный брусок длиной 180 см, шириной 4 см и толщиной 2 см, снабженный металлическим наконечником. На одной стороне бруска нанесены сантиметровые деления. Высоту снежного покрова определяют, погружая рейку вертикально в снег. При этом следует быть уверенным, что рейка дошла до поверхности почвы.

Снегомер состоит из снегозаборника, весов и лопатки. Снегозаборник выполнен в виде металлического цилиндра, который с одной стороны закрывается крышкой, а с другого – оканчивается кольцевым утолщением 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 с дужкой 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.

Объем пробы снежного покрова определяется перемножением площади поперечного сечения трубы снегомера и высоты вырезанного столбика снега. Путем деления массы пробы снега на её объём получают искомую плотность снега, г/см³.

При определении плотности снега делают три измерения на одном месте, и плотность вычисляют как среднее из них.

В тех случаях, когда снежный покров больше 60 см, весь столб вырезают по частям в несколько приемов.

ЗАДАНИЕ 1

ЗНАКОМСТВО С ПРИБОРАМИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ

Используемое оборудование: осадкомер Третьякова, плювиограф.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с устройством осадкомера Третьякова. Вычертить схему установки.

2. Измерить количество выпавших осадков.

3. Ознакомиться с устройством и назначением отдельных частей плювиографа, их монтажом в корпусе прибора. Вычертить схему прибора.

4. С кривой на ленте плювиографа снять величины продолжительности осадков, их суммы через 10-минутные интервалы, вычислить среднюю и максимальную интенсивность осадков в мм/мин.

5. Результаты записать по следующей форме:

Показатели	Числовые значения
Время начала и окончания дождя (час, мин.)	
Продолжительность дождя (мин.)	
Суммы осадков по 10-минутным интервалам (мм)	
Общая сумма осадков (мм)	
Средняя интенсивность осадков (мм/мин)	
Максимальная интенсивность (мм/мин)	

ЗАДАНИЕ 2

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТЫ И ПЛОТНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Используемое оборудование: весовой снегомер, снегомерная рейка.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с устройством весового снегомера, подготовить его к наблюдениям.
2. Определить высоту снежного покрова по снегомерной рейке.
3. Выбрать участок ровного залегания снежного покрова и провести с помощью снегомера трехкратное измерение веса и высоты снежной пробы.

Методика измерения: за полчаса до наблюдений снегомер выносят из помещения, чтобы он принял температуру окружающего воздуха. Далее собирают весы и проверяют их равновесие с подвешенным цилиндром с крышкой. Если при равновесии груза черта не совмещается с нулевым делением шкалы, ее новое положение принимают за нулевое. Затем цилиндр погружают в снег заточенным краем до соприкосновения с поверхностью почвы и отсчитывают высоту снежного покрова по шкале, нанесенной на внешней стороне цилиндра. После этого лопаткой, входящей в комплект снегомера, очищают снег с одного бока снегомера, а затем аккуратно подсовывают лопатку под цилиндр таким образом, чтобы весь снег, заключенный в цилиндре, остался внутри него. Не отнимая лопатки, вынимают цилиндр и

переворачивают его крышкой вниз. Очистив цилиндр от прилипшего снаружи снега, подвешивают снегомер за дужку на крючке весов; затем, став спиной к ветру и держа весы за кольцо в руке, уравнивают цилиндр со снегом при помощи передвижного груза и записывают деление линейки, против которого установилась риска грузика.

4. По полученным данным вычислить плотность снежного покрова.

5. Результаты наблюдений и вычислений записать в виде таблицы:

Место и дата наблюдений

Высота снежного покрова по рейке, см	№ отсчетов по снегомеру, см	Высота снежного покрова по шкале снегомера, см	Число делений весов	Плотность снега, г/м ³	Средняя величина плотности, г/м ³

ГЛАВА 9

ВЕТЕР

Ветер – это горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Ветер характеризуется скоростью и направлением. Скорость ветра может измеряться в метрах в секунду (м/с); километрах в час (км/ч), в баллах. За направление принимается направление, откуда дует ветер. Для обозначения направления ветра указывают либо румб (по 16-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, м/с за 10 мин, максимальную – за этот же интервал времени (скорость ветра при порывах), максимальную – между сроками (за 3 ч при восьми срочных наблюдениях) и направление ветра, осредненное за 2 мин (азимут, румб). При непрерывной регистрации скорости и направления ветра определяют среднее значение скорости ветра за 1 час, максимальное значение мгновенной скорости за 1 час и направление ветра, соответствующее средней скорости за 1 час.

На метеостанциях характеристики ветра измеряются на высоте 10-12 м. В зависимости от задач исследования применяются различные приборы и методы наблюдения за ветром.

При определении скорости ветра в приземном слое воздуха в полевых условиях пользуются **анемометрами** разных типов: чашечными, контактными или индукционными. Чашечные и контактные анемометры применяются обычно при градиентных измерениях, необходимых для расчета турбулентных потоков тепла и влаги в нижнем слое атмосферы. Индукционные анемометры употребляются для определения мгновенной скорости ветра (за 2-3 с). Для определения направления ветра применяют **флюгер** и дистанционные приборы – **анеморумбометры** и **электромеханические самописцы** ветра.

Ручной чашечный анемометр - прибор для измерения скорости ветра и газовых потоков за определенный промежуток времени. По конструкции приемной части различают два основных вида анемометров: а) чашечные (с полушариями) – для измерения скорости ветра любого направления в пределах от 1 до 20 м/с (*рис. 20А*); б) крыльчатые (с мельничкой) – для измерения средней скорости направленного воздушного потока от 0,3 до 5 м/с (*рис. 20Б*). Крыльчатые анемометры применяются в основном в трубах и каналах вентиляционных систем.

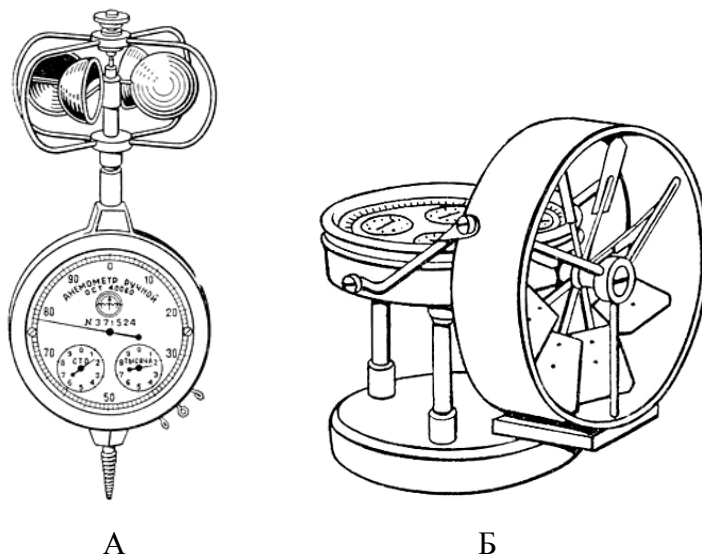


Рис. 20. А - ручной анемометр;
Б - анемометр с мельничной вертушкой.

Наиболее распространён ручной чашечный анемометр *МС-13* (*рис. 20А*). Чувствительным элементом этого прибора является небольшая вертушка с четырьмя полусферическими чашками. Она укреплена на оси, оба конца которой упираются в агатовые подшипники. Верхний подшипник оси находится в винте, ввинченном в гнездо сверху защитных дужек, нижний подшипник находится внутри корпуса. На нижнем конце оси имеется червяк, связывающий ось с входным червячным колесом механического счетчика числа оборотов. Редуктор счетчика состоит из зубчатых колес и связан с тремя стрелками, которые при вращении вертушки

перемещаются по трем шкалам. Центральная шкала имеет 100 делений с ценой деления три оборота. Малые шкалы имеют по 10 делений. Сбоку из корпуса выступает рычаг арретира счетчика, поворотом которого по часовой стрелке счетчик включается, против часовой стрелки - выключается. По обе стороны от арретира имеются два неподвижных кольца, которыми пользуются для включения счетчика при помощи шнура в тех случаях, когда анемометр находится высоко и до арретира нельзя достать рукой. Шнурок привязывают к концу арретира серединой, а концы его продевают через неподвижные кольца.

Измерение скорости ветра. Анемометр с выключенным счетчиком устанавливают на столбе на нужной высоте, ввинчивая винт в верхушку столба или деревянную пробку мачты (иногда измерения производят, держа прибор в вытянутой руке). Анемометр следует устанавливать вертикально, плоской поверхностью корпуса параллельно направлению ветра, шкальной стороной к наблюдателю. Записывают показания всех трех стрелок. Через 20-30 с (вращения чашек без включенного счетчика) одновременно включают счетчик и секундомер и через заданное время (обычно 5 мин) выключают и записывают новые показания анемометра. Разность показаний счетчика делят на число секунд, определяя среднее число делений в секунду. Среднюю скорость в м/с находят по градуировочной кривой или таблице (прилож. 5), имеющейся в поверочном свидетельстве анемометра.

Ручной индукционный анемометр АРИ-49 предназначен для измерения мгновенной скорости ветра. Пределы измерения скорости 2-30 м/с; цена наименьшего деления шкалы 1 м/с; погрешность измерения $\pm(0,5+0,05v)$ м/с.

Чувствительным элементом является трехчашечная 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, наворачиваемой на резьбовую часть хвостовика, а также

комплектуется специальным наконечником, навертываемым вместо ручки, при установке прибора на шесте.

Флюгер (от нем. *Flügel* или голл. *vieuigel* – крыло) - прибор для определения направления и измерения скорости ветра (**рис. 21**), предложенный Вильдом в конце 19 века.

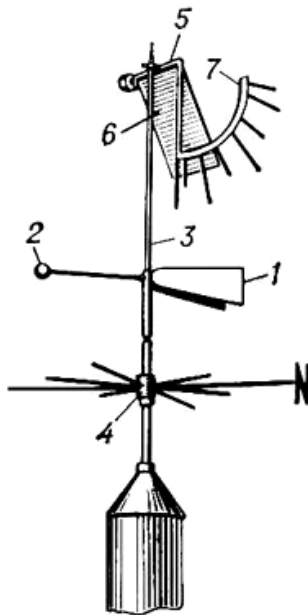


Рис. 21. Флюгер Вильда

Направление ветра определяется по положению двухлопастной флюгарки, состоящей из 2 пластин 1, расположенных углом, и противовеса 2. Флюгарка, будучи укрепленна на металлической трубке 3, свободно вращается на стальном стержне. Под действием ветра она устанавливается по направлению ветра так, что противовес направлен навстречу ему. На стержень надета муфта 4 со штифтами, ориентированными соответственно основным румбам. Штифт, обращенный на север, обозначен буквой «С» или «N». По положению противовеса относительно этих штифтов и определяют направление ветра.

Скорость ветра измеряется при помощи отвесно подвешенной на горизонтальной оси 5 металлической пластины (доски) 6. Доска вращается вокруг вертикальной оси вместе с флюгаркой и под

действием ветра всегда устанавливается перпендикулярно потоку воздуха. В зависимости от скорости ветра доска флюгера отклоняется от отвесного положения на тот или иной угол, отсчитываемый по дуге со штырями 7. Для измерения скоростей до 10 м/с используется легкая доска весом 200 г, а более 10 м/с – тяжелая доска весом 800 г. Флюгеры с легкой и тяжелой доской устанавливаются на отдельных мачтах на высоте 10–12 м. В темное время суток флюгеры освещают 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 (табл.), в которой для каждого номера штыря дается значение скорости ветра в миллиметрах в секунду для легкой и тяжелой доски.

Таблица

Доска	Положение доски у штыря														
	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7
Легкая	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17	20
Тяжелая	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	28	40

Характеристика ветра по направлению и скорости определяется визуально. Направление ветра считают **постоянным** в том случае, если за время наблюдений противовес колеблется в пределах одного румба; в противном случае ветер характеризуют как **меняющийся**. По скорости ветер называют **ровным**, если доска колеблется в течение 2 мин около одного штыря или между двумя соседними штырями. Если диапазон колебаний больше двух штырей, ветер называют **порывистым**, при этом скорость резко меняется, возрастая до некоторого максимума и затем уменьшаясь.

Анеморумбометры М-63-М-1 и М-63-1М предназначены для измерения средней за 10 мин, мгновенной и максимальной скорости ветра и определения осредненного направления ветра. Пределы измерения скорости ветра от 1,5 до 60 м/с; погрешность измерения скорости $\pm (0,5+0,052v)$ м/с; направления $\pm 10^\circ$.

Принцип действия анеморумбометра основан на преобразовании измеряемых характеристик скорости и направления ветра в электрические величины, которые передаются по соединительному кабелю в соответствующие узлы

измерительного пульта. Прибор состоит из датчиков скорости и направления 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 электрические импульсы, которые по кабелю поступают на измерительный пульт.

Измерительный пульт представляет собой настольный прибор, на лицевой стороне которого размещены шкалы скоростей и направлений 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.

Для длительной регистрации скорости и направления ветра служит прибор самописец – **анеморумбограф**. Принцип действия этого прибора аналогичен принципу действия анеморумбометра и отличается только тем, что измеренные значения скорости и направления ветра записываются на ленте регистратора с суточным оборотом барабана.

ЗАДАНИЕ 1

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА С ПОМОЩЬЮ АНЕМОМЕТРА

Используемое оборудование: чашечный анемометр, секундомер.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с устройством анемометра. Научиться брать отсчет по циферблатам.

2. Выйти, на открытое пространство и установить анемометр на высоте 1,5-2 метра.
3. Снять начальный отсчет по циферблатам, включить счетчик прибора на пять минут, затем выключить его и снять по циферблатам конечный отсчет.
4. Провести вторую серию наблюдений аналогично первой.
5. Построить градуировочную кривую «число делений в секунду, скорость ветра, м/сек».
6. По полученным данным вычислить разность конечного и начального отсчетов, число делений в секунду и скорость ветра и м/сек.
7. Результаты наблюдений и вычислений записать по следующей форме:

Анемометр №

№ серии наблюдений	Время наблюдения	Отсчеты		Разность	Число сек	Число делений, сек	Скорость, м/сек
		начальный	конечный				

Отчет должен содержать градуировочную кривую, таблицу наблюдений и выводы.

ЗАДАНИЕ 2

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ФЛЮГЕРУ ВИЛЬДА

Используемое оборудование: два действующих флюгера Вильда (с легкой и тяжелой доской), разборный флюгер

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с устройством прибора и назначением отдельных его частей. Вычертить схему флюгера.
2. Пользуясь методикой наблюдений, указанной в описании прибора, отсчитать направление и скорость ветра: а) по флюгеру с

легкой доской; б) по флюгеру с тяжелой доской. Перевести отсчеты в м/с с помощью таблицы.

3. Результаты наблюдений записать по следующей форме:

Место и время наблюдений.....

Вид флюгера	Направление ветра (по 16 румбам)	Скорость		Визуальные характеристики ветра по направлению и скорости
		№ штыря	в м/с	
С легкой доской				
С тяжелой доской				

ГЛАВА 10

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ. КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Основными источниками сведений о погоде и климате являются результаты наблюдений сети метеорологических станций в виде наблюдательских книжек, месячных таблиц, ежегодников, ежемесячников и климатических справочников и атласов.

В *наблюдательских книжках* содержится первичный материал - записи ежедневных наблюдений по срокам. Этот материал является исходным и представляет большую ценность.

Месячные таблицы составляются на метеорологических станциях по данным наблюдательских книжек и являются первым этапом обработки наблюдений. В них наряду со значениями метеорологических элементов по срокам приводятся средние и суммарные величины, наибольшие и наименьшие значения за сутки, декады, месяц, а также число дней с тем или иным явлением за месяц. В дальнейшем месячные таблицы подвергаются тщательной проверке, которая осуществляется не только на метеорологических станциях, но также в областных управлениях гидрометеорологической службы. Задачей этой проверки является анализ материалов наблюдений с целью выявления ошибок, вызванных недочетами в организации наблюдений, неисправностью приборов, случайными просчетами наблюдателей и т. п.

Метеорологические наблюдения, прошедшие проверку, считаются подготовленными к печати. В настоящее время областными и республиканскими управлениями ГМС издаются *метеорологические ежемесячники*. Всего за год издается 13 выпусков. В первых двенадцати выпусках приводятся средние декадные и месячные данные наблюдений станций и постов, а для отдельных станций по некоторым метеорологическим элементам - данные ежедневных и ежечасных наблюдений. Ежечасные и средние за сутки величины метеорологических элементов совместно с синоптическими картами используют для

анализа явлений погоды и атмосферных процессов, вызывающих эти явления, а также в прикладных целях; эти данные служат материалом для составления климатических справочников. В России Метеорологические ежемесячники начали издаваться Главной физической обсерваторией с 1892 года.

Издание, содержащее данные наблюдений метеорологической станции какой-либо страны или ее части за определенный год, называется *метеорологическим ежегодником*. В метеорологических ежегодниках публикуются месячные и годовые данные о температуре воздуха, количестве осадков, снежном покрове, направлении и скорости ветра, облачности и солнечном сиянии, атмосферных явлениях (туман, гроза, метель, град), температуре почвы и давлении воздуха. В дореволюционной России метеорологические ежегодники издавались под названием «Летописи Главной физической обсерватории» (1865-1911).

Климатические справочники по характеру содержащегося в них материала делятся на средние многолетние и справочники за отдельные годы. Все справочники подготавливаются в республиканских и областных управлениях гидрометеорологической службы, утверждаются Главной геофизической обсерваторией и являются основным официальным изданием для удовлетворения практических нужд народного хозяйства и для разработки научных задач.

Справочники, содержащие метеорологические данные за отдельные годы, в которых публикуются средние величины или суммы различных метеорологических элементов по месяцам, а также наибольшие и наименьшие их значения по станциям района, охваченного справочником. Кроме того, в них приводятся сведения о повторяемости того или другого явления (например, туманов, гроз, ливней, метелей и др.).

Данные справочников за отдельные годы могут быть использованы в различных отраслях хозяйства для учета конкретных условий того или иного года. По ним также можно исследовать изменчивость атмосферных условий из года в год, изучать особенности географического распределения температуры и осадков в аномально теплые или холодные, в сухие или чрезмерно увлажненные месяцы, сезоны или годы, и решать многие

другие задачи. Использование в этих целях средних месячных величин, взятых непосредственно из месячных таблиц или ежегодников, нерационально, так как собранный таким путем материал может оказаться недостаточно надежным. В нем могут быть ошибки, которые по данным за один год обнаружить невозможно. Материалы, опубликованные в справочниках, от такого рода ошибок освобождаются путем их анализа за многолетний период.

Справочники, содержащие многолетние средние выводы. В РФ имеется несколько изданий климатических справочников с многолетними выводами, отличающимися друг от друга качеством и объемом информации: продолжительностью периода наблюдений, за которые подсчитывались средние величины, количеством станций, включаемых в справочники, а также разнообразием климатических показателей, содержащихся в справочниках.

Основные климатические показатели

Средние значения. Для характеристики климата необходимы в первую очередь такие показатели, как многолетние средние величины элементов (температуры, влажности, давления и др.).

Климатологический смысл многолетних средних значений элементов заключается не столько в точности их абсолютной величины, сколько в сравнимости их между собой как в пределах исследуемой территории, так и в широком планетарном масштабе. Величины средней температуры, осадков и др. можно рассматривать как «климатологические нормы» для данного географического района лишь приближенно, так как в связи с «разбросом» фактических данных климатологические средние часто не совпадают с преобладающими значениями. В таком случае вычисление средних с большой точностью как будто себя не оправдывает. Однако принятая в справочниках точность (температура воздуха до $0,1^{\circ}$, осадки до 1 мм) во многих случаях позволяет ясно обнаружить ту или иную тенденцию в пространственном распределении элементов и проследить географические закономерности. Указанная точность вычисления средних позволяет также производить картографирование

элементов в достаточно крупном масштабе. Средние значения элементов климата можно рассматривать как многолетнее суммарное воздействие на подстилающую поверхность и другие компоненты природной среды солнечной радиации, радиационного тепла (выражаемого через температуру воздуха и почвы), атмосферных садков и испарения, кинетической энергии ветра и др.

Многолетние средние дают возможность изучать особенности годового и суточного хода отдельных метеорологических элементов. Сопоставление же кривых годового хода элементов дает возможность получить представление о важнейших чертах климата данной территории.

Крайние значения. Если бы условия погоды отличались устойчивостью из года в год и от одного дня к другому, то для характеристики климата было бы достаточно средних величин. Однако типичной чертой режима погоды, особенно в умеренном поясе, является его неустойчивость, непостоянство. В связи с этим при составлении климатических характеристик уделяется внимание не только средним, но и крайним значениям метеорологических элементов.

Крайние значения - наибольшие и наименьшие (максимальные и минимальные) - показывают пределы, в которых вообще может колебаться тот или другой метеорологический элемент. Абсолютный максимум или минимум — это крайнее значение данного элемента, которое отмечалось один раз за весь период наблюдений.

Абсолютные максимальные и минимальные величины, отмеченные только однажды, не могут дать представления о наиболее вероятных низких и высоких значениях элемента. Поэтому в справочниках приводятся еще средние многолетние из наибольших или наименьших значений для каждого года (обычно они приводятся только по температуре воздуха).

Средние максимальные и минимальные значения за месяц выводятся из максимальных и минимальных величин температуры за каждый день. Они дают представление о температуре самого теплого и самого холодного

времени суток, а, следовательно, и о суточной амплитуде температуры.

Повторяемость. Для более полного представления о климате кроме средних и крайних величин необходимо знать повторяемость значений метеорологических элементов в разное время года. С этой целью подсчитывают количество дней с теми или иными значениями элементов или явлениями.

Климатические карты и атласы

Климатические карты по отдельным важнейшим элементам имеются почти во всех географических атласах. Кроме того, издаются специальные климатические атласы, полностью посвященные характеристике различных сторон климата.

Климатические карты составляются главным образом на основании табличных данных справочников. Путем интерполяции, на основании показаний отдельных пунктов, на карте создается картина непрерывного распределения элемента (или явления) по территории. Пользуясь картами, можно найти значения интересующего элемента для любой точки территории.

Чтобы карта отражала действительно существующие в природе закономерности, при проведении на ней изолиний (линий равных значений элементов) не ограничиваются формальной линейной интерполяцией, а учитывают физико-географические условия местности.

Климатические карты составляются преимущественно по значениям элементов у земной поверхности, но в последнее время и для различных уровней в свободной атмосфере. Для температуры воздуха и упругости водяного пара карты строятся также и по данным, приведенным к уровню моря. Многолетние средние карты атмосферного давления строятся только для уровня моря. Для свободной атмосферы вычерчиваются многолетние средние карты барической топографии.

Приведение температуры воздуха к уровню моря чаще всего осуществляется при составлении мелкомасштабных карт, охватывающих большие пространства: весь земной шар или значительные его части, при этом вертикальный температурный градиент принимается равным $0,5^{\circ}$ на 100 м.

Преимуществом картографического материала перед табличным является то, что он дает наглядное представление о закономерностях географического распределения метеорологических элементов. Кроме того, на карту можно наносить не один, а два или более метеорологических элементов. Особенно наглядными являются карты при совмещении нескольких элементов, физически связанных между собой.

Специальные ежегодники, климатические справочники и атласы

Кроме общих метеорологических ежегодников и климатических справочников и атласов, имеются также специальные издания: агрометеорологические, актинометрические и аэрологические ежегодники, агрометеорологические справочники, атлас теплового баланса.

В агрометеорологических ежегодниках и справочниках наряду с общеметеорологическими имеются различные агрометеорологические показатели, например такие, как суммы эффективных температур, влажность почвы, данные о начале и конце вегетации различных сельскохозяйственных культур и др. В актинометрических ежегодниках имеются данные о радиационном балансе и его составляющих. В аэрологических ежегодниках даются характеристики температуры, влажности воздуха и ветра на различных уровнях в свободной атмосфере. В атласе теплового баланса приводятся карты составляющих радиационного и теплового баланса для всего земного шара (за исключением Антарктиды).

Табличные данные климатических справочников и картографический материал атласов дополняют друг друга и лежат в основе климатических описаний как крупных, так и малых территорий.

Кроме прямых количественных показателей, имеющих в климатических справочниках и атласах, необходимо в той или иной мере использовать косвенные данные, подтверждающие качественные особенности климата: принадлежность данной территории к той или иной растительно-почвенной зоне, характер выветривания и денудации, фенологические явления, а также ряд

местных явлений – ветровые кроны деревьев, развитие овражной сети, песчаные дюны, морозобойные трещины на стволах деревьев.

При составлении климатических характеристик той или иной территории все указанные показатели (средние, повторяемости и крайние величины) следует брать из официальных климатических справочников и атласов, где надежность данных обеспечивается методикой их составления.

ЗАДАНИЕ

ЗНАКОМСТВО С ОСНОВНЫМИ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Оборудование:

1. Месячные таблицы метеорологических наблюдений.
2. Метеорологические, актинометрические, аэрологические и агрометеорологические ежегодники и ежемесячники.
3. Климатические справочники (метеорологические данные за отдельные годы; многолетние средние величины).
4. Климатические атласы.

Порядок выполнения задания:

1. Ознакомиться с перечисленными материалами.
2. По одному из пунктов, расположенному в пределах России, выписать следующие данные:
 - а) среднюю месячную температуру воздуха для всех месяцев года;
 - б) средний из абсолютных максимумов и минимумов температуры воздуха в январе и июле;
 - в) даты перехода средней суточной температуры воздуха через 0,+5,+10,-5,-10⁰ в периоды подъема и понижения температуры воздуха;
 - г) среднюю относительную влажность воздуха за 13-часовой срок;
 - д) средние месячные суммы осадков и среднюю годовую сумму осадков;
 - е) среднее месячное число дней с осадками;
 - ж) высоту снежного покрова по декадам;

- з) преобладающее направление ветра в каждом месяце года;
 - и) повторяемость направления ветра по восьми румбам и повторяемость штилей в январе, апреле, июле, октябре;
3. Построить графики годового хода температуры воздуха, относительной влажности и числа дней с осадками.
4. Построить диаграммы годового хода осадков и высоты снежного покрова;
5. Построить розы ветров по месяцам: январь, апрель, июль, октябрь.
6. Сделать выводы о климатических условиях района:
- а) выделить наиболее холодный и наиболее теплый месяцы года и определить годовую амплитуду температуры;
 - б) указать ежегодно возможный максимум и минимум температуры воздуха в самый холодный и наиболее теплый месяцы года;
 - в) указать даты перехода средней суточной температуры через $0, +5, +10, -5, -10^0$ в периоды подъема и понижения температуры воздуха;
 - г) определить месяцы года с наибольшим и наименьшим количеством осадков;
 - д) объяснить причину летнего максимума и зимнего минимума в годовом ходе осадков;
 - е) определить время года с наибольшим и наименьшим количеством дней с осадками и проследить, совпадает ли оно с моментами наибольшего и наименьшего количества осадков;
 - ж) определить время наступления максимума и минимума в годовом ходе относительной влажности; объяснить особенности годового хода относительной влажности, используя годовой ход температуры воздуха, количества осадков и числа дней с осадками;
 - з) отметить время установления снежного покрова, указать декаду с наибольшей средней высотой и отметить время схода снежного покрова;
 - и) указать месяцы, когда происходит переход в преобладающих ветрах от зимнего к летнему режиму;
 - к) сделать выводы о повторяемости различных направлений ветра и штилей в разные сезоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волошина А.П.,. Руководство к лабораторным занятиям по метеорологии и климатологии /А.П. Волошина, Т.В. Евнеевич, А.И. Земцова. М.: Из-во Моск. ун-та, 1975.
2. Кедроливанский В. Н., Стернзат М. С. Метеорологические приборы. Л., 1953.
3. Моргунов В.К. Основы метеорологии и климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений: учебник. Ростов-на-Д.:Феникс; Новосибирск: Сибирское соглашение, 2005.
4. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и наблюдения. Л., 1968.
5. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., 1971.

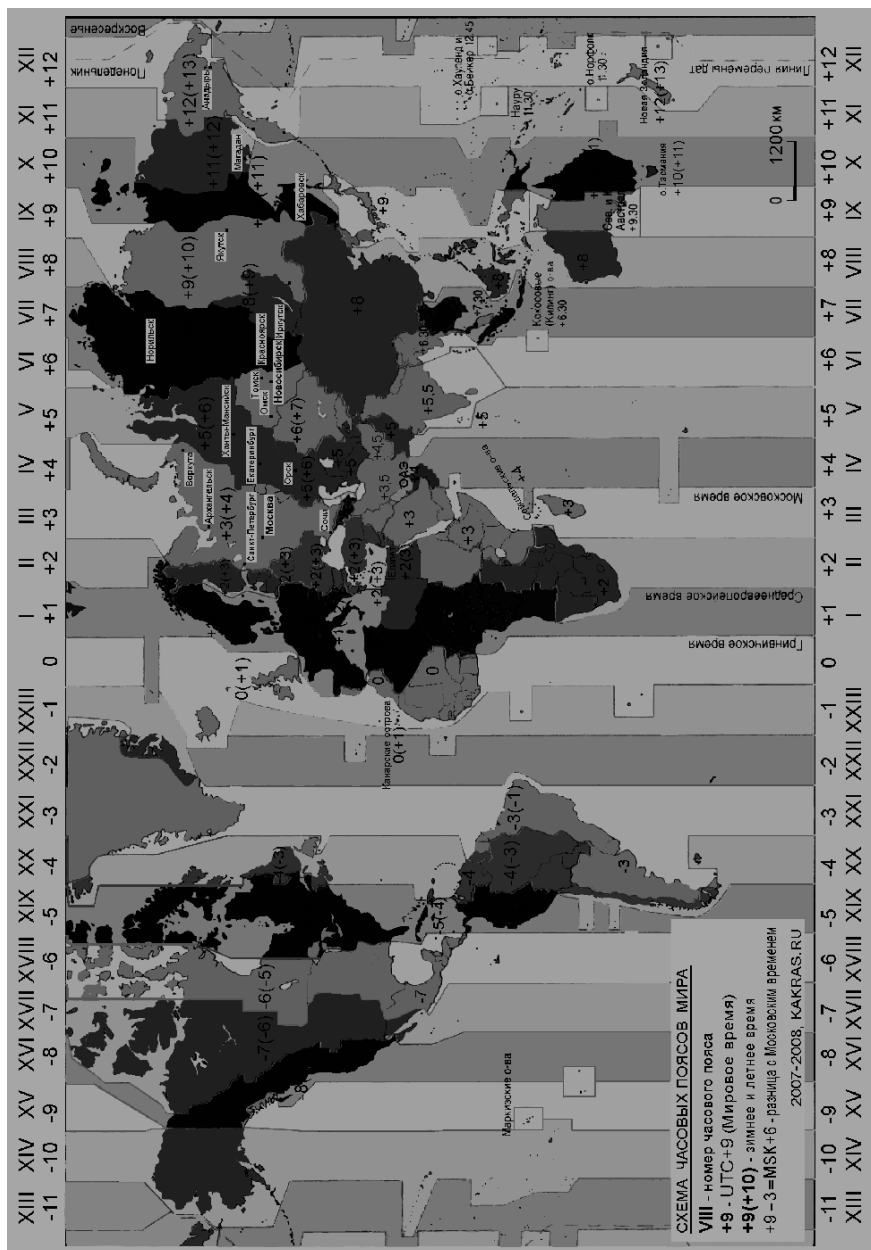


Рис. 1. Карта часовых поясов

БАРОМЕТР-АНЕРОИД МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ БАММ –1

ПАСПОРТ
Л82.832.001 ПС

1. НАЗНАЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЯ

1.1 Барометр-анероид метеорологический БАММ – 1 предназначен для измерения атмосферного давления в наземных условиях при температуре от нуля до 40 градусов и относительной влажности до 80 процентов.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Диапазон измеряемого давления, кПа	80-106
2.2. Пределы допустимых погрешностей барометра, кПа не более	
основной	+/-0,2
дополнительный	+/-0,5
2.3. Цена деления шкалы давления, кПа	+/-0,1
2.4. Масса, кг, не более:	
Без футляра	0,7
с футляром	1,0
2.5. Габаритные размеры, мм, не более:	
диаметр	152
высота	90
2.6. Барометр относится к неремонтируемым изделиям.	
2.7. Средний срок службы барометра не менее 6 лет.	

3. ПОРЯДОК РАБОТЫ С ПРИБОРОМ

3.1. Рабочее положение барометра – горизонтальное. Для устранения влияния позиционных ошибок следует установить

барометр так, чтобы при визуальном осмотре не был замечен какой-либо наклон шкалы барометра.

3.2. Барометр должен быть защищен от влияния прямого солнечного излучения и резких колебаний температуры.

3.3. При изменении атмосферного давления отсчитывают показания барометра, соблюдая следующие условия:

1) перед отсчетом для устранения влияния трения в механизме барометра необходимо слегка постучать по корпусу или стеклу барометра,

2) во избежание искажений, при отсчете луч зрения должен быть перпендикулярным к плоскости шкалы,

3) отсчет по барометру производить с точностью до 0,05 кПа.

3.4. Отсчет по барометру должен быть исправлен введением в его показание поправок.

3.5. Не реже одного раза в 12 месяцев следует производить ведомственную поверку барометра. Поверку барометра производить согласно документу «Методические указания ГСОЕИ. Барометры мембранные метеорологические. Методика поверки», МИ 1802-87.

3.6. При эксплуатации барометра воспрещается:

1) вынимать барометр из корпуса.

2) Поворачивать через отверстие корпуса установочный винт.

ПРИМЕЧАНИЕ. При эксплуатации барометра температуру окружающей среды отсчитывать по термометру, погрешность которого не более 1 градуса.

4. ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Барометр должен храниться в сухом проветриваемом помещении при температуре воздуха от 5 до 40 градусов и относительной влажности до 80 процентов. В помещении не допускается наличие паров кислот, других веществ, вызывающих коррозию. Транспортирование барометра разрешается всеми видами транспорта, кроме авиационного.

5. ПОПРАВКА ШКАЛЫ

Показания, кПа	Поправка, кПа	Показания, кПа	Поправка, кПа
106	+0,04	92	+0,18
105	+0,01	91	+0,21
104	-0,02	90	+0,21
103	-0,04	89	+0,21
102	-0,02	88	+0,18
101	+0,01	87	+0,16
100	+0,04	86	+0,11
99	+0,06	85	+0,06
98	+0,06	84	+0,01
97	+0,06	83	-0,04
96	+0,11	82	-0,04
95	+0,16	81	-0,04
94	+0,16	80	+0,04
93	+0,16	-	-

6. ФОРМУЛА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОПРАВКИ

$P_t = 24 - 1,2t - 0,00186t^2 + 0,00026t^3 + 0,000312(t-20) (97592 - P_{\text{psi}})$,
где t – температура среды ($^{\circ}\text{C}$) P_{psi} – значение давления,
определенное по барометру после установки стрелки, (Па).

7. ДОБАВАЧНАЯ ПОПРАВКА

Добавочная поправка: +0,25 кПа

ПСИХРОМЕТР АСПИРАЦИОННЫЙ

ПАСПОРТ
ГРПИ.405132.001 ПС

1. НАЗНАЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЯ

1.1. Психрометры аспирационные предназначены для измерения температуры воздуха и температуры «моченного» термометра с целью последующего вычисления параметров влажности воздуха.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

2.1. Диапазон измерения температуры воздуха от -25 до +50⁰С.

2.2. Диапазон измерения температуры смоченного термометра от -10 до +50⁰С.

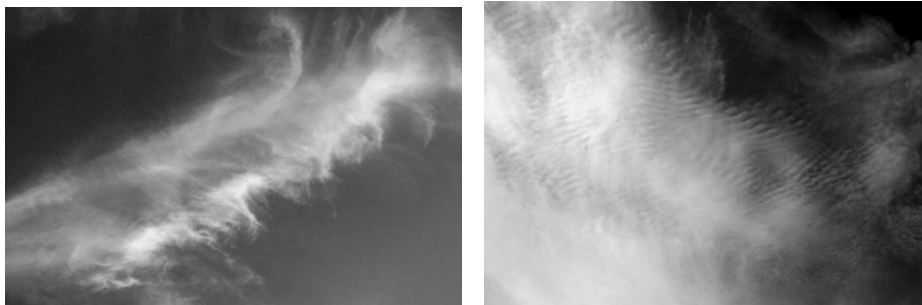
2.3. Предел допускаемых случайных составляющих погрешностей термометров, после введения поправок $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

2.4. Скорость аспирации на четвертой минуте не менее 2,0 м/с.

2.5. Время раскручивания пружины заводного механизма при полном заводе составляет не менее 8 мин.

3. ПОПРАВКИ В ПРОВЕРЯЕМЫХ ОТМЕТКАХ ШКАЛЫ ТЕРМОМЕТРОВ, ⁰С

Сухой		Смоченный	
отметка	поправка	отметка	поправка
-30	+0,05	-30	+0,03
-20	+0,06	-20	+0,08
-10	+0,11	-10	+0,05
0	+0,18	0	+0,18
+10	0,00	+10	+0,08
+20	0,00	+20	+0,04
+30	-0,03	+30	+0,09
+40	-0,08	+40	+0,12



А

Б

Рис. 1. А - Перистые облака;
Б - перисто-кучевые облака



А

Б

Рис. 2. А – перисто-слоистые облака;
Б – высококучевые облака



А

Б

Рис. 3. А - высоко-слоистые облака;
Б – слоисто-дождевые облака



А

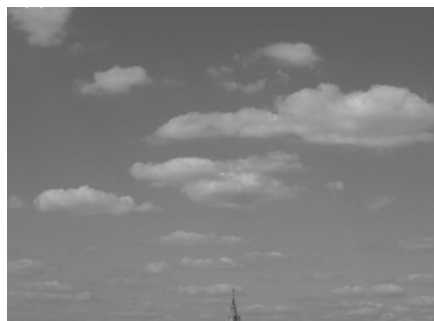


Б

Рис. 4. А – слоисто-кучевые облака
Б - плотные слоисто-кучевые облака;



А



Б

Рис. 5. А – слоистые облака;
Б - плоские кучевые облака



А



Б

Рис. 6. А – мощные кучевые облака;
Б - кучево-дождевые облака

**ГРАДУИРОВОЧНАЯ ТАБЛИЦА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА**

Число делений в секунду	Скорость ветра в м/сек
1	1,6
2	2,6
3	3,6
4	4,5
5	5,5
6	6,5
7	7,4
8	8,4
9	9,4
10	10,4
11	11,3
12	12,3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Ведение	3
Глава 1. Организация метеорологических наблюдений	4
Глава 2. Основные понятия о времени	9
Глава 3. Атмосферное давление	12
Глава 4. Солнечная радиация	21
Глава 5. Температура почвы, воды и воздуха	30
Глава 6. Влажность воздуха	46
Глава 7. Облачность	58
Глава 8. Осадки и другие атмосферные явления	67
Глава 9. Ветер	77
Глава 10. Климатические показатели. Климатологические материалы	85
Литература	93
Приложение 1	94
Приложение 2	95
Приложение 3	98
Приложение 4	100
Приложение 5	101

Составитель Лариса Николаевна Петухова

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО К ПРОВЕДЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕТЕОРОЛОГИИ
И КЛИМАТОЛОГИИ**

Отпечатано с оригинал-макета заказчика.

Подписано в печать 17.12. 08. Формат $60 \times \frac{1}{16}$.

Усл.печ.л. 6,04. Уч.-изд.л. 5,9.

Тираж 100 экз. Заказ №.

Типография ГОУВПО «Удмуртский
государственный университет»,
426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 4.