

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

**С.И. Пряхина, С.В. Морозова, Н.В. Семенова, Н.В. Короткова**

## **Методы и приборы гидрометеорологических измерений**

*Учебно-методическое пособие*

Для студентов, обучающихся по направлениям  
05.03.05 – Прикладная гидрометеорология (бакалавриат);  
05.04.05 – Прикладная гидрометеорология (магистратура);

Саратов  
ИЦ «НАУКА»  
2016

УДК 551 501.1

ББК 26.8

П85

Рекомендуют к печати:

кафедра метеорологии и климатологии

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

Ведущий научный сотрудник НИИСХ Юго-Востока, доктор с.-х. наук И.Ф. Медведев,

Научно-методическая комиссия географического факультета

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

**Пряхина С.И., Морозова С.В., Семенова Н.В., Короткова Н.В.**

П85 Учебно-методическое пособие «Методы и приборы гидрометеорологических измерений» для студентов, обучающихся по направлениям 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология (бакалавриат), 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология (магистратура) – Саратов: ИЦ «Наука», 2016. – 178 с.

**ISBN 978-5-9999-2734-7**

В учебно-методическом пособии представлен краткий теоретический материал по метеорологическим наблюдениям, описаны метеорологические методы и приборы, приведены лабораторные и практические задания с учетом рабочих программ учебных планов по направлениям 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология (бакалавриат), 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология (магистратура).

УДК 551 501.1

ББК 26.8

ISBN 978-5-9999- 2734-7

© Пряхина С.И., Морозова С.В.,  
Семенова Н.В., Короткова Н.В. 2016

## Содержание

	стр
Предисловие	5
Введение	6
1 Организация метеорологических измерений	7
1.1 Краткая история метеорологических измерений в России	7
1.2 Классификация метеорологических приборов	14
1.3 Основные характеристики измерительных приборов	19
1.4 Основные требования к метеорологическим приборам	21
2 Организация и работа метеорологических станций и постов	24
2.1 Метеорологические станции и посты	25
2.2 Метеорологическая площадка	26
2.3 Сроки и порядок наблюдений	29
3 Измерение температуры почвы и воздуха	31
3.1 Виды термометров	31
3.2 Измерение температуры воздуха	33
3.3 Измерение температуры поверхности почвы	43
3.4 Измерение температуры почвы на глубинах	45
3.5 Измерение глубины промерзания почвы	50
4 Измерение влажности воздуха	53
4.1 Определение величин влажности воздуха	53
4.2 Методы измерения влажности воздуха	55
4.3 Приборы для измерения влажности воздуха	56
5 Измерение атмосферного давления	71
5.1 Приборы для измерения атмосферного давления	72
5.2 Барометрическое нивелирование	80
6 Измерение скорости и направления ветра	82
6.1 Приборы для измерения скорости и направления ветра	84
6.2 Повторяемость направлений ветра и штилей	92
7 Измерение атмосферных осадков и высоты снежного покрова	94
7.1 Приборы для измерения осадков	94
7.2 Измерение гололеда	101
7.3 Наблюдения за снежным покровом	102
8 Определение формы и высоты облаков	109
8.1 Морфометрическая классификация облаков	112

9	Измерение составляющих радиационного баланса (актинометрические наблюдения)	123
9.1	Потоки лучистой энергии и единицы измерения	123
9.2	Методы измерения лучистой энергии	126
9.3	Измерение прямой солнечной радиации	129
9.4	Измерение суммарной, рассеянной и отраженной радиации	132
9.5	Определение альбедо	136
9.6	Измерение радиационного баланса	139
9.7	Измерение продолжительности солнечного сияния	143
10	Дистанционные и автоматические метеорологические измерения	149
	Заключение	155
	Словарь основных терминов и понятий	156
	Список использованных источников	164
	Примеры лабораторных и практических работ	166
	Пример тестовых заданий	174

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время сведения о состоянии атмосферы широко используется как при составлении прогнозов погоды, так и при решении различных задач, в том числе и экономических.

Множество различных методов и средств получения метеорологической информации требует тщательного изучения. В данном учебно-методическом пособии рассмотрены современные методы и приборы, предназначенные для проведения метеорологических измерений, описаны основные требования к их эксплуатации.

Основу данного учебно-методического пособия составляет содержание курса «Методы и средства гидрометеорологических измерений».

В главах 1-2 приводится организация метеорологических измерений, описание и устройство метеорологической площадки, а также требования к измерениям метеорологических величин. В главах 3-8 описаны наблюдения за метеорологическими величинами (атмосферное давление, ветер, температура и влажность воздуха, осадки, облачность), которые используются при метеорологическом обеспечении в соответствии с рекомендациями Всемирной Метеорологической Организации (ВМО).

В главе 9 приведены методы и средства актинометрических измерений. Даны понятия солнечной радиации, описание актинометра, пиранометра, альбедометра и балансомера.

Глава 10 посвящена автоматизации измерений метеовеличин, необходимых для метеорологического обеспечения.

Материал пособия разбит по темам курса, каждая работа состоит из двух частей — теоретической и практической. Методики проведения метеорологических наблюдений приведены в соответствии с «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам» [1], определяющим основные положения по организации и осуществлению комплекса приземных метеорологических наблюдений с учетом рекомендаций ВМО.

Сведения об устройстве приборов, конструкции установок, их установке и измерениям приводятся в теоретической части.

Рисунки, приведенные в работе, не являются авторскими, они взяты из справочной литературы [1-3].

## ВВЕДЕНИЕ

Атмосфера и протекающие в ней физические процессы влияют на различные области жизнедеятельности, поэтому одной из важных задач метеорологии является изучение состояния атмосферы и атмосферных процессов.

Для того чтобы постоянно иметь полное представление о состоянии атмосферы, необходима широкая постановка систематических измерений многих физических величин, характеризующих как состояние атмосферы, так и подстилающей поверхности, оказывающей большое влияние на развитие атмосферных процессов [2].

Предметом изучения курса "Методы и средства гидрометеорологических измерений" являются приборы и методы различных метеорологических измерений основных характеристик атмосферы.

Цель метеорологических измерений заключается в мониторинге состояния атмосферы и связанных с этим состоянием радиационного режима и подстилающей поверхности как части климатической системы.

Задачи метеорологических измерений состоят в следующем:

1. Сбор и обработка данных для оперативного обслуживания различных отраслей хозяйства;
2. Сбор и обработка данных для диагноза метеоусловий, для прогноза погоды и условий загрязнения;
3. Сбор и обработка данных для прогноза климата и оценки антропогенного влияния на климат [4].

# **1 Организация метеорологических измерений**

## **1.1 Краткая история метеорологических измерений в России**

Регулярные наблюдения за погодой первым попытался установить царь Алексей Михайлович (отец Петра I). По его повелению из Европы привезли астрономические инструменты и метеорологические приборы, в том числе и барометр. Однако назначенный царем вести записи о погоде Афанасий Матюшкин, сын дьяка, инструментами не пользовался и фиксировал в «Дневальных записках» в основном собственные наблюдения: когда начался дождь, когда закончился, когда замерзла Москва-река, когда вскрылся лед.

Инструментальные метеорологические наблюдения в России берут свое начало во времена организации Петром I морского флота.

В 1715 г. по приказу Петра I был создан первый в России водомерный пост, организован был на Неве у Петропавловской крепости.

1 декабря 1725 г. Ф.Х. Майер, академик «Академии наук и всяческих искусств», созданной по указу Петра I, начал производство регулярных метеорологических измерений. В этом же году указом Петра I было организовано около 20 метеорологических станций, во время Великой Северной экспедиции, которой руководил Беринг. В 1727 г. были опубликованы первые метеорологические измерения в России. Таким образом, была создана первая сеть метеорологических станций в России. Дальнейшее развитие сети произошло в 1733-1743 гг. во время Второй Камчатской экспедиции, когда было создано еще 24 метеостанции.

Стоит отметить, что создание метеорологической сети России опережало ее становление в Западной Европе. Европейские станции учитывали опыт российских, более совершенных в то время.

Первая инструкция по производству метеорологических наблюдений была написана в 1735 г. академиком И.Г. Гмелиным и предписывала 4 срока суточных наблюдений.

Одним из первых метеорологических приборов был термометр, изобретенный Галилеем в 1597 году. Наряду с термометром стали использовать прибор для измерения атмосферного давления – барометр, а для наблюдения за влажностью воздуха использовались различные типы гигрометров.

Интересна история изобретения барометра. Впервые идею создания барометра предложил Галилей, а осуществили ее его знаменитые ученики в 1643 г. Имя Торричелли навсегда вошло в историю естественных наук как имя человека впервые доказавшего существование атмосферного давления. Исходя из представления, что мы живем на дне воздушного океана, оказывающего на нас давление, Торричелли предложил измерить это давление с помощью запаянной трубки («Трубки Торричелли»), заполненной ртутью. При опрокидывании трубки в сосуд с ртутью ртуть из трубки выливалась не полностью, а останавливалась на некоторой высоте, так, что в трубке над ртутью образовывалось пустое пространство. Так был сконструирован первый в мире барометр. Так из опыта в 1643 г. Торричелли родилась научная метеорология.

В 1670 г. английский ученый Роберт Гук разработал шкалу барометра, где низкое давление соответствовало дождю и шторму, а высокое – хорошей и сухой погоде. Такие обозначения мы можем видеть и на современных комнатных барометрах, хотя такой простой зависимости между давлением и погодой не существует, связь эта гораздо сложнее.

В 1665 г. английский физик и химик Роберт Бойль (1627-1691) назвал новый прибор барометром.

В 1774 г. Ламберт изобрел механизм, в котором использовал натуральную кожу в качестве измеряющего элемента влажности. Также Иоганн Ламберт был первым, кто вывел зависимость между температурой и влажностью (относительная влажность). В 1783 г. Сассюр изобрел волосяной гигрометр, применив человеческий обезжиренный волос в качестве чувствительного элемента.



Скорость ветра долгое время определялась на глаз, а направление по компасу. В середине XIX века для определения ветра стали применяться флюгарки, а в начале 80-х годов XIX века для определения скорости ветра были введены анемометры

М.В. Ломоносов дал мощный толчок развитию приборной базы метеорологических измерений. Он лично изготовил несколько оригинальных приборов, например, анемометр с крыльчатым колесом, совмещенный с большим флюгером. Крыльчатые анемометры применяются для измерения скорости ветра и по сей день.

Ломоносов изготовил и первые самопишущие приборы для метеорологических измерений. В его петербургском доме действовала первая в мире метеорологическая обсерватория, оснащенная самопишущими приборами. Для измерения температуры на высоте нескольких метров от земли Ломоносов создал «аэродинамическую машину», поднимавшую термометр. Машина действовала по принципу вертолета. Впервые в истории Ломоносов применил стеклянную линзу для измерения температуры поверхности Солнца. По сути дела, это был первый радиационный термометр, действующий по принципу пассивной локации.

Дальнейшее развитие метеорологических измерений в России связано с именем академика А.Я. Купфера, основателя и первого заведующего Нормальной обсерватории в Петербурге (ныне – Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И. Воейкова). Обсерватория была создана в 1834 г. В 1835 г. А.Я. Купфер составил «Руководство к деланию метеорологических и магнитных измерений», прообраз современных «Наставлений гидрометеорологическим станциям и постам». В том же году было рекомендовано проводить измерения атмосферного давления по барометру конструкции А.Я. Купфера, который до 1870 г. был лучшим барометром в мире.

В 1846 г. Купфер изобрел чашечный анемометр с крестом Робинзона. А.Я. Купфер занимался также вопросами обработки метеорологических

измерений. В том же 1846 г. он издает «Выводы из метеорологических измерений, сделанных в Российском государстве», труд, который обобщал результаты многолетних наблюдений за погодой в России.

В 1847 г. был изобретен первый барометр-анероид, значительно упростивший измерение атмосферного давления.

В это время ученые уже понимали, что первопричиной всех атмосферных явлений является солнечное излучение. Поэтому в 1850 г. в России начинаются первые регулярные актинометрические измерения. Актинометрические приборы того времени сильно отличались от современных, однако принцип измерения был тот же – измерение температуры черного тела. Таким телом служил термометр, а для исключения ветровой погрешности его помещали в стеклянный баллон, из которого выкачивался воздух. Более совершенные актинометрические приборы – абсолютный пиргелиометр и относительный актинометр – были изобретены в конце 19 века, а регулярные наблюдения с их помощью начались в 1893 г. в Павловской обсерватории под Петербургом.

Описывая историю метеорологических измерений, нельзя пройти мимо имени Г.И. Вильда, создателя Флюгера, названного его именем, который был создан в 1873 г. и применяется по настоящее время. В 1870 г. Г.И. Вильд сконструировал «нормальный» барометр, точность измерений которого составлял 0,01 мм. рт. ст. Такая точность и в настоящее время считается превосходной. Вместе с механиком Гаслером Вильд сконструировал самопишущий прибор для измерения количества твердых осадков.

Эффективность использования результатов метеорологических измерений сдерживала невозможность быстрого обмена информацией между станциями. Пока сведения передавали с помощью курьеров (на лошадях), они успевали безнадежно устареть. Изобретение телеграфа открывало перед метеорологами ранее невиданные возможности. В 1861 г. была послана первая телеграмма, содержащая сведения о погоде, из Западной Европы в Россию. У метеорологов впервые появляется возможность в режиме

реального времени следить за погодой на обширной территории. С тех пор оперативность передачи данных о погоде всегда была и остается в настоящее время важнейшим фактором, определяющим эффективность работы метеорологической сети. В дальнейшем для этого использовались различные средства связи: телефон, телеграф, телетайп, наконец – компьютер.

Для оперативной передачи данных в 1874 г. Международный метеорологический конгресс утвердил специальный метеорологический код, который применялся в России и в Западной Европе до 1911 г. Примерно в это же время утверждены специальные для атмосферных явлений и принята 10-бальная шкала количества облачности.

Началом наблюдений за атмосферным электричеством следует считать 1898 г., когда А.С. Попов создает грозоотметчик, первый пассивный радиолокатор для наблюдений за грозами. В 1914 г. в Павловской обсерватории начинаются регулярные наблюдения за атмосферным электричеством в приземном слое атмосферы. Чуть ранее, в 1908 г., там же в Павловской обсерватории, начинаются наблюдения за количеством озона в приземном слое, значение которого в физике атмосферы к этому времени было уже понято метеорологами. Создается прожекторная установка для измерения высоты нижней границы облаков в ночное время.

Россия является приполярной страной. Ученые всего мира понимали особую роль Северного Ледовитого океана в формировании погодных процессов. Поэтому России самой природой отведена ведущая роль в организации метеорологических измерений в полярных районах. Развитие средств транспорта и связи на рубеже 19-20 веков сделали возможным решение этой задачи.

В 1913 г. организуется полярная станция на о. Шпицберген, откуда в Петербург передаются радиограммы. В 1914 г. стали поступать регулярные метеосводки с Карского моря (Югорский шар, Вайгач, Маре-Сале), а в 1916г. - с о. Диксон. В начале 20-х годов открывается первая советская радиостанция Маточкин Шар на Новой Земле. В 1937 г. первая

метеорологическая сводка была передана с дрейфующей станции «Северный полюс-1». Дрейфующие станции в Северном Ледовитом океане с тех пор действовали почти постоянно, с перерывами во время второй мировой войны и в 90-х годах 20 века.

Открытие радиоактивности в начале 20 века породило новую отрасль метеорологических измерений. В 1924 г. в Павловске (пригород Санкт-Петербурга) начинается непрерывная регистрация радиоактивности воздуха. Важность этих измерений многократно возросла во второй половине 20 века, когда начались испытания ядерного оружия, и появилась опасность радиоактивного заражения местности.

В СССР метеорологическим наблюдениям придавалась серьезное значение. В 1921 г. подписан декрет об организации Метеорологической службы РФ.

В 1930 г. П.И. Молчанов запускает первый радиозонд для исследования процессов в свободной атмосфере.

В начале 30-х годов появляется автоматическая метеостанция для исследования полярных районов, которая устанавливалась в труднодоступном районе и работала без участия человека, передавая данные о погоде по радио. В 1950 г. станция была усовершенствована и стала выпускаться под именем АРМС-50 (автоматическая радиометеорологическая станция). В 1956 г. выпущена новая модификация - ДАРМС (дрейфующая автоматическая радиометеорологическая станция), широко используемая в Арктике и в Антарктике во второй половине 20 века.

Развитие авиации поставило новые задачи перед метеорологами. Особое значение приобрело измерение прозрачности атмосферы. Появляются приборы для измерения метеорологической дальности видимости. Это, прежде всего, дымкомер В.В. Шаронова (1935 г.), нефелометр (1940 г.), а в 1956 г. В.И. Горышин создает первый регистратор прозрачности атмосферы М-37.

В 1959 г. создан прибор ИДВ (измеритель дальности видимости) конструкции В.А. Гаврилова, а в 1966 г. - РДВ-1 (регистратор дальности видимости), дальнейшие модификации которого (РДВ-2 и РДВ-3) применялись до конца 20 века.

Особую важность для авиации имеет также измерение высоты нижней границы облачности. В 1959 г. создается регистратор нижней границы облачности А-26, а в начале 60-х годов - ИВО (измеритель высоты облачности), работающий на основе светолокационного метода. Модификации этого прибора (ИВО-1м, РВО-2, РВО-3) применяются и в настоящее время.

Однако первыми наблюдателями за облаками были землепашцы и пастухи. Внимание этих наблюдателей привлекали лишь те облака, из которых шел дождь или снег. Первая общепринятая классификация облаков была предложена английским метеорологом-любителем Л. Говардом. Классификация облаков в течение длительного времени развивалась и дополнялась.

Для использования на АМСГ разрабатываются специальные автоматические метеорологические станции (УАТГМС - 1964 г. и первая станция типа КРАМС - 1968 г.). Эти станции способны измерять большое количество параметров без участия человека и обрабатывать их.

4 октября 1957 г. с запуском первого искусственного спутника Земли начинается активное освоение Космоса человеком. Это открыло поистине космические горизонты перед метеорологическими измерениями. Если ранее исследование высоких слоев атмосферы велось, в основном, с помощью ракет (в 1958 г. геофизическая ракета достигла высоты 473 км), то теперь появилась возможность изучать все атмосферные процессы не только «снизу», но и «сверху», из Космоса. В 1966 г. был запущен первый метеорологический спутник «Космос-122», в дальнейшем такие спутники запускались регулярно.

В настоящее время метеорология немыслима без информации, поступающей со спутников. В этой области, как в ни в одной другой, проявляется международное сотрудничество, поэтому сейчас, несмотря на то что запуском спутников занимаются только несколько стран, информация предоставляется практически всем странам, имеющим соответствующую приемную аппаратуру [5].

## **1.2 Классификация метеорологических приборов**

Все приборы для измерения метеорологических параметров можно разделить по различным признакам. Например, по назначению (в зависимости от того, какой параметр они измеряют): термометры – для измерения температуры, анемометры – для измерения скорости ветра и т.д.

Можно предложить и другие способы квалификации, например, по способу расположения датчика или отсутствия такового. Согласно этой квалификации можно выделить приборы непосредственного измерения и приборы с дистанционной связью.

Приборы непосредственного измерения полностью расположены в точке измерения. Например, жидкостный термометр, который необходимо поместить в измеряемую среду. Для того чтобы провести измерение, наблюдатель должен находиться рядом с прибором, например, выйти на метеоплощадку.

Приборы с дистанционной связью – это такие приборы, в которых датчик помещается в исследуемую среду и соединяется проводной или иной связью с пультом управления. Пульт управления, как правило, находится в помещении, где работает наблюдатель. Это, например, резисторные термометры, дистанционные анемометры и т.д. В этих приборах четко можно выделить две части – датчик, помещаемый в точку измерения, и пульт управления, содержащий электрические схемы и показывающие элементы (стрелку со шкалой или цифровой индикатор). Датчик представляет собой

(или содержит как составную часть) первичный преобразователь, преобразующий измеряемую величину в другую физическую величину, транслируемую по каналу связи. Например, датчик температуры преобразует температуру среды в электрический ток, значение которого зависит от температуры. Далее ток транслируется по кабелю в пульт управления. Можно представить себе приборы с радиосвязью, оптической связью и т.д.

Приборы непосредственного измерения также как и приборы с дистанционной связью должны иметь датчик, находящийся в контакте с окружающей средой. Поэтому их можно объединить общим названием – контактные приборы. Существуют, однако, бесконтактные приборы, у которых датчик, как таковой, вообще отсутствует. Бесконтактные приборы иначе называют локаторами. Их также можно разделить на две группы: активные и пассивные локаторы.

Активные локаторы содержат передатчик и приемник. Передатчик излучает оптический, акустический или электромагнитный сигнал в направлении исследуемого участка среды (например, радиолокатор излучает в атмосферу электромагнитное излучение). Этот сигнал рассеивается исследуемым объемом воздуха, причем рассеянный сигнал зависит от свойств рассеивающего объема. Далее рассеянный сигнал принимается приемником, который может быть расположен как в непосредственной близости от передатчика, так и на некотором расстоянии от него. Обычно рассеянный (т.е. принимаемый приемником) сигнал очень слаб. Его усиливают, подвергают различным преобразованиям, а затем, в зависимости от приходящего сигнала, определяют параметры исследуемого объема.

Пассивный локатор не содержит передатчика. В нем используется свойство исследуемой среды генерировать некий сигнал, параметры которого определяются свойствами среды. Например, любое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, излучает электромагнитный сигнал. Излучение этого сигнала (его принято называть тепловым излучением) зависит от температуры тела. Следовательно, измерив, параметры принятого

теплового излучения, можно определить температуру удаленного объема воздуха.

Достоинством локаторов является, прежде всего, возможность определения параметров достаточно удаленных объектов.

Существует классификация метеорологических измерительных приборов, связанная со способами измерения. Согласно этой классификации все измерительные приборы можно разделить на два типа: абсолютные и относительные измерительные приборы.

Абсолютные приборы основаны на сравнении измеряемого параметра с другим таким же параметром, значение которого можно регулировать в процессе измерения. Наблюдатель в процессе измерения добивается равенства величины измеряемого и регулируемого параметра. Например, чашечные весы являются абсолютным прибором. На одну чашку весов помещают взвешиваемое тело, на другую - гири, массу которых подбирают в процессе измерения. При достижении равновесия весов делается заключение о равенстве масс на обеих чашках. Такие приборы не содержат показывающих элементов - стрелочного указателя или цифрового индикатора. Они не требуют калибровки. В метеорологических измерениях такие приборы используются редко. Их обычно используют в лаборатории для калибровки относительных приборов.

Относительные приборы основаны на преобразовании измеряемой величины в другую физическую величину, значение которой измерить достаточно просто (например, угол отклонения стрелки, высота столбика ртути, электрический ток и т.п.). Эти приборы требуют предварительной калибровки, т.к. содержат стрелочный указатель, а значит, положение стрелки необходимо сопоставить с измеряемой величиной. Примером такого прибора являются пружинные весы, угол отклонения стрелки которых зависит от массы взвешенного тела. Такие приборы проще в использовании, чем абсолютные. Поэтому в метеорологии их используют чаще. Но нельзя



забывать, что относительные приборы требуют регулярной периодической поверки и калибровки.

Помимо этой классификации измерительные (в том числе метеорологические) приборы, можно разделить и по другим признакам, например, показывающие приборы, записывающие приборы и информационно-измерительные системы.

Показывающие приборы имеют на выходе какой-либо указатель, например, стрелку со шкалой (вместо стрелки может использоваться столбик ртути или иной подвижный указатель) или цифровой индикатор. Показания прибора считываются и записываются оператором-измерителем. При отсутствии оператора показания прибора остаются непрочитанными.

Записывающие приборы имеют на выходе устройство, записывающее значение измеряемой величины. Это может быть самописец с бумажной лентой, на которой происходит запись измерения измеряемой величины, или электронное устройство для записи, например, оперативная память компьютера. Такие приборы предпочтительнее показывающих, т.к. они не требуют непосредственного присутствия оператора. Работа оператора сводится только к техническому обслуживанию прибора и к анализу записанной информации. Запись информации представляет собой первую ступень автоматизации измерений. Простейшими приборами такого типа являются барограф, термограф, гигрограф и др.

Информационно-измерительные системы (ИИС) имеют еще большую степень автоматизации измерений. ИИС, как правило, измеряет не одну, а несколько величин. Измерения ведутся по заранее заданной программе, записанной в памяти ИИС. ИИС не только измеряет и записывает показания в оперативную память, она еще и транслирует информацию по каналам связи к потребителям, а также содержит цепочки обратной связи, которые позволяют управлять отдельными блоками системы. Такая ИИС уже не может быть названа просто прибором, хотя бы в силу ее сложности.

Типичным примером метеорологической ИИС является комплексная радиоэлектронная аэродромная метеорологическая станция (КРАМС).

Приведем еще одну классификацию измерительных приборов: приборы для измерения мгновенного значения величин и интегрирующие приборы.

Приборы для измерения мгновенного значения, как это следует из их названия, измеряют то значение величины, которое она имеет в настоящий момент. При этом подразумевается, что измеряемая величина непрерывно изменяется, а значит, показания прибора изменяются также непрерывно. Так, например, работают термометры, анемометры, гигрометры, актинометрические приборы, измеряющие потоки радиации и другие приборы.

Интегрирующие приборы измеряют суммарное значение некоторой величины, накопленное в течение определенного промежутка времени, который задается в процессе измерения. Таким прибором является, например, осадкомер Третьякова - он измеряет сумму осадков за промежуток времени между измерениями. В противоположность осадкомеру пювиограф является прибором для измерения мгновенного значения, т.к. он дает возможность измерить интенсивность осадков - иначе говоря, мгновенное значение потока осадков. Еще пример - счетчик Гейгера измеряет мощность дозы радиации (мгновенное значение), а радиофотолюминисцентный прибор «Флюорад» измеряет дозу радиации, накопленную за задаваемый интервал времени.

Говоря о классификации измерительных приборов, необходимо упомянуть об аналоговых и цифровых приборах.

Аналоговые приборы имеют на выходе стрелочный или иной указатель со шкалой. Выходная величина этих приборов, например, угол отклонения стрелки, изменяется в соответствии с измеряемой величиной. Можно сказать, что эти величины изменяются аналогично - отсюда название типа прибора. Такие приборы работают с аналоговым сигналом, например, это напряжение

или ток, который может принимать любое значение в определенном интервале, причем его значение зависит от измеряемой величины.

Цифровые приборы имеют на выходе цифровой индикатор, состоящий из отдельных элементов. В этих приборах используется цифровой сигнал, представляющий собой последовательность импульсов (например, импульсов тока). Амплитуда каждого из импульсов может принимать только два значения: низкого уровня (ноль) или высокого уровня (условно его называют единичным импульсом). Эти импульсы подчиняются определенному коду - чаще всего это двоичный код, в котором закодировано значение измеряемой величины. Таким образом, измеряемая величина может быть прочитана только при анализе последовательности нескольких импульсов [5].

### **1.3 Основные характеристики измерительных приборов**

При работе с измерительными приборами необходимо, прежде всего, знать их основные характеристики, определяющие пригодность прибора для измерений данной величины в данной условиях. Обычно эти характеристики приводятся в паспорте прибора или в техническом описании.

Важнейшей характеристикой прибора является его чувствительность. Согласно определению, абсолютная чувствительность любого прибора ( $S$ ) – это отношение изменения выходной величины ( $Y$ ) к вызвавшему ее изменению входной величины ( $X$ ). Математически это можно выразить в виде производной:

$$S = \frac{dY}{dX} \quad (1.1)$$

Входная величина – эта, собственно, величина, которую измеряет данный прибор (например, температура, влажность и т.д.). Выходная величина - это та, в которую преобразуется входная величина в процессе

работы прибора (например, высота столба ртути, угол отклонения стрелки и т.д.). Если известна зависимость  $Y(X)$ , которая определяется устройством прибора, то можно, используя уравнение (1.1), выразить чувствительность и определить ее величину.

Введем понятие относительной чувствительности прибора. Это отношение абсолютной чувствительности к значению выходной величины  $Y$ :

$$S = \frac{1}{Y} \frac{dY}{dX} \quad (1.2)$$

Относительная чувствительность показывает, на какую часть от выходной величины изменяется сама выходная величина при изменении входной величины на единицу. Например, известно, что при изменении температуры на один градус изменение высоты столбика ртути составляет 1мм. Много это или мало? Для ответа на этот вопрос необходимо знать высоту столбика ртути. Если она равна, скажем, одному сантиметру, то один миллиметр – это достаточно много, это одна десятая часть от самого значения высоты. Относительная чувствительность в этом случае равна 0,1 1/К. Но если высота столбика ртути, например, 50 см, то относительная чувствительность термометра в 50 раз ниже.

Важной особенностью относительной чувствительности является то обстоятельство, что она имеет одинаковую размерность для всех однотипных приборов. Например, для термометров – 1/К, для барометров – 1/Па и т.д. Значит, однотипные приборы, имеющие разную конструкцию, можно сравнивать между собой по их относительной чувствительности.

Второй важнейшей характеристикой прибора является погрешность измерения. Обычно она выражается так:  $\pm \Delta X$ , где  $X$  - измеряемая (входная величина). Величину  $\Delta X$  можно определить, зная чувствительность прибора и погрешность измерения выходной величины  $\Delta Y$ :

$$\Delta X = \frac{\Delta Y}{S} \quad (1.3)$$

Погрешность измерения выходной величины  $\Delta Y$  обычно равна половине деления шкалы стрелочных приборов. Для других приборов значение  $\Delta Y$  определяется исходя из физической природы величины  $Y$ .

Не нужно, однако, думать, что погрешность измерения полностью описывается уравнением (1.3). Как правило, к этому значению нужно прибавить погрешности, обусловленные влиянием других физических величин на работу прибора. Поэтому вопрос о погрешностях каждого прибора мы будем обсуждать особо. Кроме того, при измерениях также присутствуют случайная, систематическая и инструментальная погрешности. Нахождение средней величины измеренного значения с достаточной степенью точности - это отдельная математическая задача, решение которой находится за пределами данного курса.

Важнейшей характеристикой работы прибора является его инерция. Инерция прибора - это его свойство показывать измеряемую величину с задержкой во времени. В паспорте каждого прибора содержится параметр, описывающий его инерцию. Для термометра это коэффициент тепловой инерции, для ротоанемометров - путь синхронизации и т.д. Существуют, однако, безинерционные приборы, у которых инерция или вообще отсутствует, или пренебрежимо мала [5].

#### **1.4 Основные требования к метеорологическим приборам**

На метеорологических станциях проводят следующие виды измерений:

1. Атмосферное давление;
2. Температура воздуха;
3. Влажность воздуха;
4. Количество атмосферных осадков;
5. Облачность;

6. Скорость и направление ветра;
7. Дальность видимости;
8. Температура почвы и воды;
9. Продолжительность солнечного сияния;
10. Продолжительность солнечного сияния;
11. Интенсивность солнечной радиации и длинноволновой радиации земной поверхности и атмосферы;
12. Элементы атмосферного электричества.

При этом проводятся еще и наблюдения за различными атмосферными явлениями, за загрязнением атмосферы.

К метеорологическим приборам, с помощью которых проводятся эти измерения, предъявляются разнообразные, иногда трудносовместимые, требования:

1. Массовые, широко распространенные приборы должны быть простыми и дешевыми в изготовлении;
2. Срок службы этих приборов должен быть значителен;
3. Приборы должны быть просты в эксплуатации;
4. Должны длительное время сохранять свои технические характеристики, обеспечивать постоянство показаний на длительный срок при любых климатических условиях;
5. Приборы должны обеспечивать большую точность измерений.

Иногда к метеорологическим приборам предъявляются дополнительные требования: ограничение габаритов, веса, инерционности и т.д.

Условия работы метеорологических приборов достаточно жесткие, с большими перепадами давления, температуры, влажности, поэтому они должны иметь достаточно хорошую защиту от агрессивного воздействия внешней среды.

Метеорологические наблюдения и измерения должны проводиться по специально разработанной методике и удовлетворять следующим требованиям:

1. Однородности наблюдений, измерений во времени и пространстве;
2. Сравнимости наблюдений, измерений во времени и пространстве.

Сравнимость наблюдений достигается путем: а) применения на всех станциях однотипных приборов, поверенных и сравнимых с эталонными приборами; б) производства наблюдений по единым наставлениям; в) однородности первичной обработки наблюдений и измерений, проводимых по единым методикам.

Относительно требований к метеоприборам можно сказать, что нет ни одной отрасли, где одновременно с требованиями простоты и массовости прибора стоят жесткие требования к точности измерений [4].

## **2 Организация и работа метеорологических станций и постов**

Главными задачами «Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» являются следующие:

1. Организация деятельности государственной системы наблюдений (измерений) и мониторинга за состоянием окружающей среды;
2. Обеспечение народного хозяйства информацией о текущем и ожидаемом состоянии окружающей среды, обеспечение прогнозами возникновения опасных явлений;
3. Контроль над соблюдением норм и правил охраны чистоты воздушного бассейна и вод, включая контроль источников выбросов, контроль за трансграничным переносом загрязнений;
4. Учет вод и ведение водного кадастра;
5. Создание банка (фонда) данных о состоянии окружающей среды.

Для решения этих задач организации Федеральной службы выполняют работы следующего характера:

1. Осуществление на гидрометеорологических и геофизических станциях и постах, в экспедициях, на научно-исследовательских судах с помощью ИСЗ и авиационных носителей наблюдений: а) за состоянием атмосферы, б) за состоянием вод рек, морей и океанов, в) за состоянием сельскохозяйственных культур, г) за состоянием и уровнем загрязнения атмосферного воздуха, почвы, вод, д) за радиационной обстановкой, е) состоянием ионосферы и магнитного поля Земли.
2. Сбор, анализ, обобщение и распространение результатов наблюдений и измерений.
3. Составление различных прогнозов погоды, прогнозов гидрологических условий, на реках, озерах, водохранилищах, морях и океанах, прогнозов состояния сельскохозяйственных культур, пастбищ, прогнозов уровня загрязнения воздуха, воды, почвы, прогнозов состояния



ионосферы, радиационной обстановки, в том числе и в околоземном космическом пространстве.

4. Составление и издание научно-прикладных справочников о климатических, агроклиматических и водных ресурсах России, справочников о гидрометеорологическом режиме морей и океанов, о параметрах загрязнения окружающей среды.

5. Разработка норм предельных выбросов загрязняющих веществ для предприятий.

6. Осуществление государственного учета количества и качества вод.

7. Проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок по исследованию атмосферы, вод и загрязнения окружающей среды и по созданию технических средств измерения и обработки данных.

8. Разработка методов активных воздействий на гидрометеорологические процессы и их внедрение.

9. Осуществление централизованного сбора, учета, хранения и выдачи материалов гидрометеорологических и геофизических измерений (наблюдений) [4].

## **2.1 Метеорологические станции и посты**

Основной метод исследования в метеорологии – метод наблюдений, т.е. измерение и качественная оценка метеорологических величин, характеризующих физическое состояние атмосферы и подстилающей поверхности (воды, суши), оказывающей большое влияние на развитие атмосферных процессов.

Для измерения метеорологических величин создана сеть метеорологических станций и постов, оснащенных соответствующими приборами и установками.

Важным источником метеорологической информации служат наблюдения, осуществляемые с помощью автоматических, телеметрических и радиометрических станций, авиации и искусственных спутников Земли.

В зависимости от объема выполняемой работы метеорологические станции подразделяются на разряды (I, II, III), а по содержанию работы - на основные и специальные. К специальным относятся станции и посты, обслуживающие определенные отрасли народного хозяйства.

На метеорологических станциях и постах производят наблюдения за основными и дополнительными метеорологическими величинами: температурой, влажностью, давлением, скоростью и направлением ветра и др.

Данные наблюдений метеорологических станций представляют научную и практическую ценность, только в том случае, если они сравнимы между собой. Для обеспечения этого условия все метеорологические станции ведут наблюдения по специальным наставлениям и инструкциям, по однотипным приборам и в определенное время.

## **2.2 Метеорологическая площадка**

Наблюдения за большинством метеорологических величин проводятся на метеорологической площадке. Для сравнимости наблюдений очень важно выбрать место для метеорологической площадки и правильно разместить приборы.

Метеорологическую площадку располагают на ровном открытом горизонтальном участке, типичном для района, чтобы полученные данные наблюдений характеризовали окружающую территорию.

Метеорологическая площадка (рис. 2.1) должна иметь форму прямоугольника, стороны которого должны быть направлены с севера на юг и с запада на восток. Размеры площадки зависят от количества аппаратуры и объема работы станции.

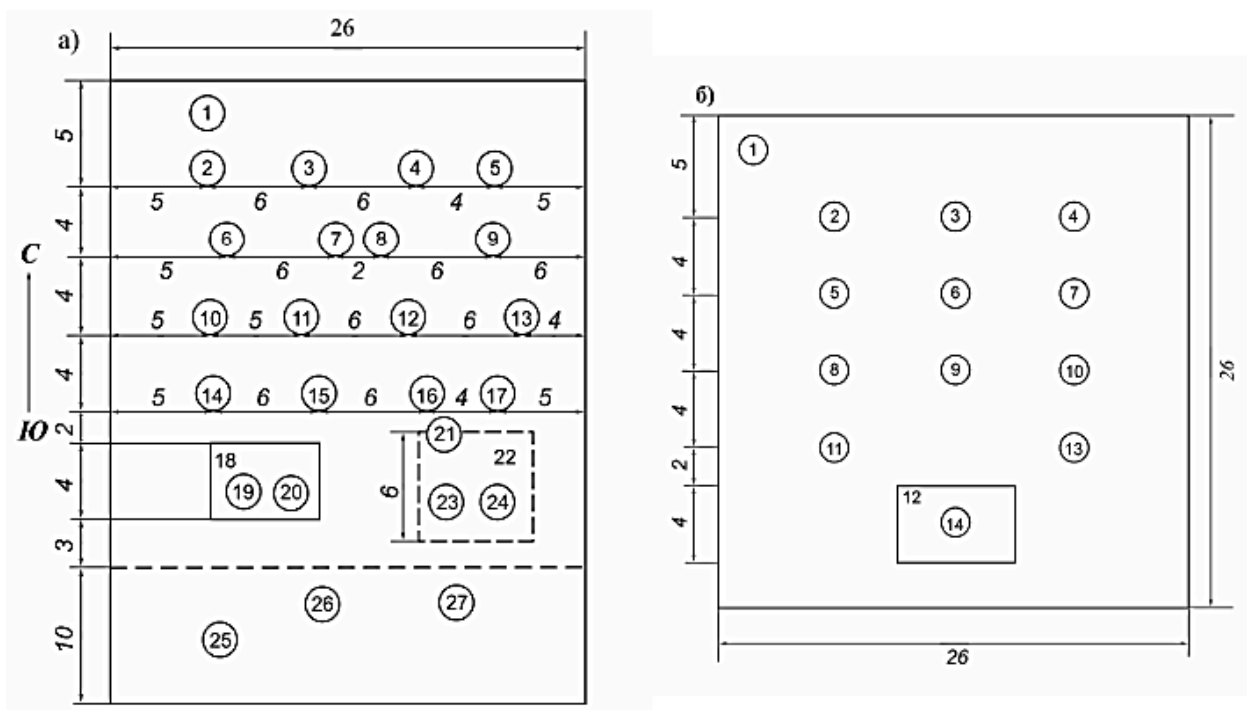


Рисунок 2.1 - План размещения оборудования и приборов на метеорологической площадке (расстояния указаны в метрах):

- а — полная программа наблюдений:** 1 — геодезический репер станции; 2 — флюгер с легкой доской; 3 — датчик анеморумбометра (анеморумбографа); 4 — флюгер с тяжелой доской; 5 — гололедный станок; 6 — будка психрометрическая; 7 — снегомерная рейка; 8 — будка психрометрическая запасная; 9 — будка для самописцев; 10 — прибор для измерения МДВ (например, установка М-53); 11 — осадкомер; 12 — пьювиограф; 13 — запасной столб осадкомера (для установки при снежном покрове); 14 — снегомерная рейка; 15 — гелиограф; 16 — ледоскоп; 17 — россограф; 18 — оголенный участок для установки напочвенных (19) и коленчатых термометров Савинова (20); 21 — снегомерная рейка; 22 — участок с естественным растительным покровом для установки почвенно-глубинных термометров (23) и мерзлотомера (24); 25 — установка для измерения вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха; 26 — установка для измерения изменчивости скорости ветра с высотой; 27 — актинометрическая установка (стойка с приборами);
- б — сокращенная программа наблюдений:** 1 — геодезический репер станции; 2 — флюгер с легкой (тяжелой) доской; 3 — анеморумбометр; 4 — гололедный станок; 5 — будка психрометрическая; 6 — снегомерная рейка; 7 — будка психрометрическая запасная; 8 — осадкомер; 9 — пьювиограф; 10 — запасной столб для осадкомера; 11, 13 — снегомерные рейки; 12 — оголенный участок для напочвенных термометров; 14 — напочвенные термометры.

Стандартная площадка имеет размер 26\*26 м (допускаются минимальные размеры 20\*16 м), площадка станции, ведущей актинометрические наблюдения, — 26\*36 м (длинными сторонами ориентируется с севера на юг).

Площадка должна быть огорожена для сохранения естественной поверхности, а также для сохранности установленного на ней оборудования.

Ограда должна обеспечивать хорошую естественную вентиляцию любого места на площадке.

Рекомендуется стандартная ограда из проволочной сетки с ячейками размером 10\*10 см, натянутой на металлические рамы. Рамы укрепляются на металлических трубах, либо на железобетонных или деревянных столбах высотой 1,2-1,5 м над поверхностью земли. С северной стороны для входа делают калитку. Ограда площадки, подставки, будки, столбы, мачты и другое вспомогательное оборудование окрашивается в белый цвет для предохранения их от излишнего перегрева прямыми солнечными лучами. Приборы на метеорологической площадке устанавливают в определенном порядке, чтобы они не затеняли друг друга и не препятствовали свободному обмену воздуха. Расстояние между приборами и от ограды до приборов должно быть 4 – 6 м.

С северной стороны площадки размещают более высокие установки: флюгер с легкой доской или анеморумбометр, флюгер с тяжелой доской и гололедный станок. В виде исключения на некоторых метеорологических станциях флюгер устанавливают на крыше здания. В южной части площадки выделяют участки: с естественным покровом и оголенный для почвенных термометров. На участке с естественным покровом устанавливают также мерзлотометр и снегомерные рейки. В средней части площадки размещают психрометрическую будку, будку для самописцев, осадкомер, плювиограф.

Актинометрические приборы устанавливают в южной части площадки. Все другие приборы и установки размещают на свободных местах, предпочтительно на северной стороне площадки.

Для сохранения естественного покрова на метеорологической площадке хождение допускается по дорожкам шириной 40 – 50 см. Их прокладывают так, чтобы наблюдатель мог подходить к приборам с северной стороны и затрачивать меньше времени на переходы от одной установки к другой. Зимой при равномерном залегании снежного покрова дорожки не рекомендуется очищать от снега. Летом высота растительного покрова на

площадке не должна превышать 20 см. Скошенную траву надо немедленно убрать с площадки.

Некоторые метеорологические наблюдения проводят за пределами площадки. Например, снегомерные съемки проводят по заранее установленному маршруту, атмосферное давление измеряют в служебных помещениях метеорологических станций. В служебных помещениях устанавливаются измерительные пульта дистанционных приборов.

### **2.3 Сроки и порядок наблюдений**

Для обеспечения сравнимости и однородности результатов наблюдений метеорологических станций необходимо строго соблюдать сроки и порядок наблюдений.

С 1 января 1966 г. наблюдения на всех метеорологических станциях проводят синхронно восемь раз в сутки в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 ч по гринвичскому времени. Исключение составляют актинометрические наблюдения. Их проводят по среднему солнечному времени в 0 ч 30 мин, 6 ч 30 мин, 9 ч 30 мин, 15 ч 30 мин и 18 ч 30 мин.

Во все сроки измеряют температуру воздуха и почвы, влажность воздуха, скорость ветра и его направление, метеорологическую дальность видимости, атмосферное давление, определяют характеристики облачности. Другие величины, не имеющие хорошо выраженного суточного хода, определяют не во все сроки и даже между сроками. Так, состояние поверхности почвы и осадки определяют два раза в сутки в сроки, ближайšie к 8 и 20 ч местного времени пояса, в котором расположена станция. Высоту снежного покрова, глубину промерзания почвы измеряют один раз в утренний срок, ближайший к 08 ч декретного времени данного пояса. Снегомерные съемки производят один раз в 10 дней, а весной перед началом и в период таяния снега – один раз в 5 дней. Испарение измеряют один раз в 5 дней, влажность почвы – один раз в 10 дней (на 8-й день

декады). Ленты термографа, гигрографа, барографа меняют в срок, ближайший к 13 ч, а плювиографа – к 20 ч местного времени.

За начало суток на каждой станции принимают единый срок, ближайший к 20 ч, а за первый срок наблюдений – срок, ближайший к 23 ч местного времени.

Так как произвести измерения всеми приборами точно в срок наблюдений нельзя, принято при восьмисрочных наблюдениях температуру и влажность воздуха измерять за 10 мин, а давление воздуха – за 2 мин до срочного часа. Все остальные измерения начинают за 30 мин до срока и заканчивают после срока. Общая продолжительность наблюдений составляет 30 – 40 мин.

Основные требования к метеорологическим наблюдениям:

1. Репрезентативность наблюдений;
2. Однородность ряда;
3. Сравнимость наблюдений (измерений);
4. Синхронность измерений;
5. Единство методов наблюдений.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем отличия метеорологических площадок с полной и неполной программой наблюдений? Дайте краткую характеристику.

2. Какие виды метеорологических наблюдений ведутся на станциях непрерывно в течение суток?

### 3 Измерение температуры воздуха и почвы

Температура воздуха имеет важное значение для жизни и деятельности человека. Температура воздуха изменяется в течение года и в течение суток в зависимости от вращения Земли и связанных с ним изменений в притоке солнечной радиации. Однако имеют место и неперiodические её изменения, связанные с горизонтальным перемещением воздушных масс.

Температура воздуха является одной из основных термодинамических характеристик атмосферы. Нижние слои атмосферы нагреваются и охлаждаются больше всего путём радиационного и нерадиационного обмена теплом с верхними слоями почвы и воды. Поэтому температуры в нижних слоях атмосферы прежде всего определяются изменениями температуры подстилающей поверхности и следуют за этими изменениями. Подстилающая поверхность – это поверхность земли, т.е. почвы, растительности, снега, льда и т.д., которая, непосредственно взаимодействуя с атмосферой, поглощает солнечную и атмосферную радиацию и излучает её в атмосферу, участвуя в процессах тепло- и влагообмена и регулируя термический режим почвы.

Температура по международной практической температурной шкале (МПТШ-68) измеряется в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Градус температурной шкалы Цельсия составляет 1/100 интервала между точками таяния льда ( $0^{\circ}\text{C}$ ) и кипения воды ( $100^{\circ}\text{C}$ ). МПТШ-68 позволяет пользоваться как температурой  $T$  Кельвина (К), так и температурой  $t$  Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Связь между этими температурами определяется соотношением:  $t = T - 273,15 \text{ К}$ .

#### 3.1 Виды термометров

Термометр - это термометрическое тело, изменение температуры которого практически удобно определяется по установленной зависимости от температуры одной из характеристик термометрического тела.

Принцип действия любого термометра основан на температурной зависимости некоторого выбранного физического свойства термометра. Эти свойства называются термометрическими свойствами. Вещества, применяемые в термометрах, также называются термометрическими веществами.

Метод измерения температуры и вид термометра определяет выбранная заранее термометрическая характеристика (свойство) или термометрическое вещество [4].

На метеорологической сети в зависимости от термометрических свойств наиболее распространены и применяются жидкостные, деформационные термометры, термометры сопротивления, термоэлектрические, термотранзисторные и радиационные термометры.

**Жидкостные термометры** основаны на принципе изменения объема жидкости с изменением температуры. В качестве жидкости в таких термометрах чаще всего используют ртуть или спирт. Термометр состоит из небольшого стеклянного резервуара цилиндрической или шарообразной формы, к которому припаяна капиллярная трубка. Резервуар и часть трубки заполнены жидкостью. Температуру отсчитывают по шкале, изготовленной из стекла молочного цвета. Она расположена за капиллярной трубкой внутри стеклянной наружной оболочки.

Инерция жидкостных термометров 3 - 7 мин. Для некоторых термометров (термометр-щуп, вытяжной термометр) инерцию искусственно завышают до 15 – 20 мин, так как отсчеты по ним производят вынимая из почвы, т. е. в другой среде. Погрешность измерения 0,2 – 0,5°C.

В показания жидкостных термометров необходимо вводить шкаловые поправки, которые указаны в поверочном свидетельстве каждого термометра.

**Деформационные термометры** основаны на принципе изменения линейных размеров твердых тел при изменении температуры. Приемником таких термометров является биметаллическая пластинка или пружина из



инвара и стали. Инерция деформационных термометров составляет 3 – 10 мин, а погрешность измерения не менее  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

**Термометры сопротивления** основаны на принципе изменения сопротивления, электропроводимости тел при изменении температуры. Датчики термометров сопротивления могут быть металлическими проволочными и полупроводниковыми. Термометры сопротивления широко применяются для дистанционных измерений. Инерция их мала (есть приборы с инерцией около 1 с), погрешность измерения около  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

**Термоэлектрические термометры** основаны на принципе измерения электродвижущей силы термоэлементов, возникающей вследствие разности температур спаев. Термоэлементы часто изготавливают из меди и константана. Преимущество этих термометров перед жидкостными состоит в том, что ими можно производить измерения во всем диапазоне температур, учитывающихся в метеорологии. Инерция их составляет 30 – 100 с, а погрешность измерения  $0,5 – 1,0^{\circ}\text{C}$ .

**Термотранзисторные термометры**, действие которых основано на зависимости напряжения системы «эмиттер-база» транзистора от температуры.

**Радиационные термометры.** Радиометрические приборы (радиометры) теплового диапазона определяют по тепловому излучению температуру излучательной поверхности. Радиационные термометры находят все большее распространение при дистанционных исследованиях и контроле природной среды.

Выбор метода и прибора для измерений температуры зависит от требований, предъявляемых к изменению температуры.

### **3.2 Измерение температуры воздуха**

Для измерения температуры воздуха применяют термометры – психрометрический, максимальный и минимальный. Для непрерывной регистрации температуры воздуха служит термограф.

**Психрометрический термометр ТМ-4** ртутный, с шаровидным резервуаром и металлическим колпачком в верхней части, цена делений  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Длина термометра около 400 мм, диаметр стеклянной оболочки  $\approx 15$  мм, диаметр резервуара 9-12 мм, наружный диаметр капилляра  $\leq 2,5$  мм. Пространство над ртутью заполняется азотом. Коэффициент инерции психрометрического термометра 300 с. Допустимые погрешности при температуре выше  $0^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , при температуре ниже  $0^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

При температуре воздуха ниже  $-35^{\circ}\text{C}$  используют низкоградусный спиртовой термометр ТМ-9 с цилиндрическим резервуаром. Устанавливают его рядом с психрометрическим и начинают одновременные измерения для определения дополнительной поправки к спиртовому термометру при температуре воздуха ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Психрометрические термометры применяются в паре и составляют стационарный психрометр, который служит для измерения температуры и влажности воздуха, устанавливаются вертикально в психрометрической будке.

**Установка.** Термометры для измерения температуры воздуха устанавливают в защитной психрометрической будке БП-1 (рис. 3.1) так, чтобы резервуары термометров располагались на высоте 2 метра.

Стенки психрометрической будки (1) состоят из двойных жалюзи, расположенных одна над другой на расстоянии 25 мм под углом  $45^{\circ}$  к горизонтальной плоскости. Жалюзийные стенки защищают термометры от прямого попадания солнечных лучей и вместе с тем не препятствуют свободному доступу воздуха. Одна из жалюзийных стенок укреплена на петлях и открывается (дверца). Потолок будки сплошной, но для уменьшения нагревания над потолком укреплена крыша, имеющая небольшой наклон. Дно будки состоит из трех досок. Средняя доска укреплена немного выше крайних и перекрывает зазор между ними.

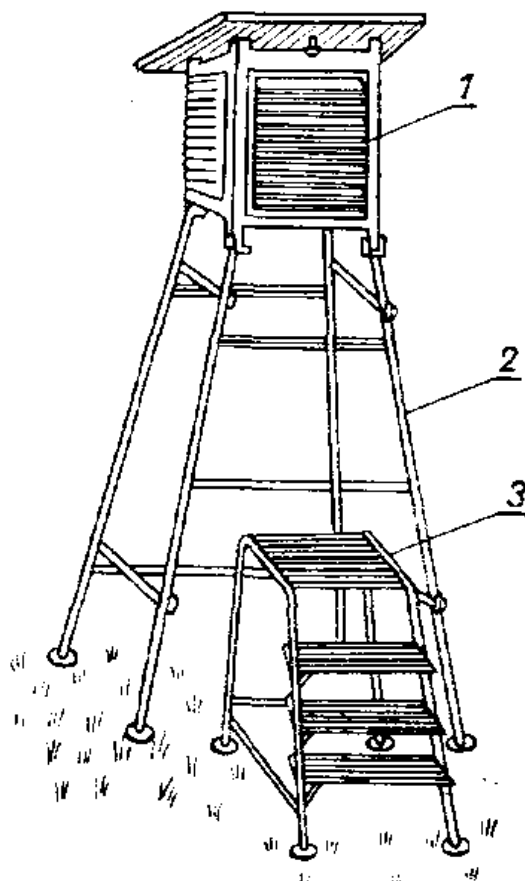


Рисунок 3.1 - Психометрическая будка БП-1

*1 – будка, 2 – подставка, 3 – лесенка*

Будка ориентируется дверцей на север, чтобы во время измерений на термометры не падали солнечные лучи, и укрепляется на подставке 2 высотой 175 см. Для удобства отсчетов около будки устанавливают лесенку. Для уменьшения нагрева будку, подставку и лесенку окрашивают в белый цвет.

Внутри будки к средней доске прикреплен штатив (1) (рис. 3.2), на котором устанавливают вертикально два психометрических термометра: слева – сухой (2), по которому отсчитывают температуру воздуха, справа – смоченный (3). Максимальный (5) и минимальный (6) термометры располагают резервуарами к востоку на особые дугообразные лапки, прикрепленные к нижней перекладине штатива; на верхнюю пару лапок кладут с небольшим наклоном в сторону резервуара максимальный термометр, на нижнюю – минимальный (горизонтально).

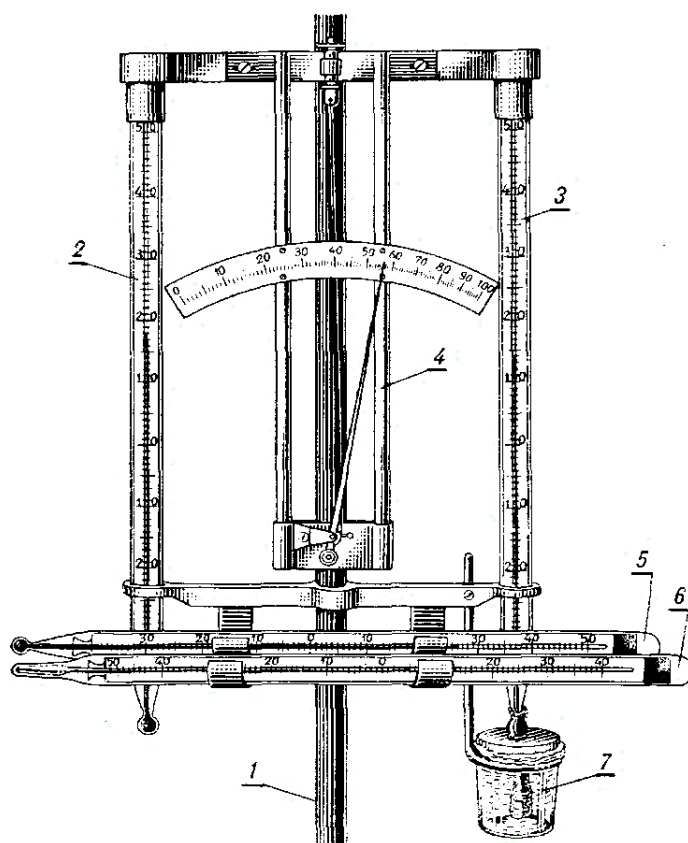


Рисунок 3.2 - Установка приборов в психометрической будке

1 – штатив, 2, 3 – сухой и смоченный, 4 – гигрометр,  
5, 6 – максимальный и минимальный термометры, стаканчик

**Измерения.** На время измерений открывают дверцу будки и по возможности быстро отсчитывают показания термометров с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$  (независимо от цены деления шкалы) в таком порядке: сухой, смоченный, минимальный (спирт), максимальный, минимальный (штифт). После этого максимальный термометр встряхивают, а штифт минимального термометра подводят к мениску спирта. Для большей точности по всем термометрам вначале отсчитывают десятые доли, а потом целые градусы.

**Максимальный термометр ТМ-1** служит для измерения самой высокой (максимальной) температуры за период между сроками наблюдений. Максимальный термометр ртутный с цилиндрическим резервуаром. Цена деления шкалы  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Рабочее положение термометра горизонтальное (резервуар слегка опущен). Максимальные показания

термометра сохраняются благодаря наличию штифта (2), укрепленного ко дну резервуара (1), создающего сужение при выходе из резервуара в капилляр (3) (в соответствии с рисунком 3.3). При повышении температуры ртуть из резервуара поднимается по капилляру за счет силы расширения ртути, которая превышает силы трения в месте сужения. При понижении температуры ртуть из капилляра не может вернуться в резервуар, так как силы трения в месте сужения значительно больше сил молекулярного сцепления. В результате этого в месте сужения происходит разрыв ртути и таким образом фиксируется максимальное значение температуры за данный промежуток времени.

Для последующего измерения максимальной температуры за другой отрезок времени надо максимальный термометр встряхнуть 2-3 раза, чтобы ртуть из капилляра перешла в резервуар. Встряхивания производят, беря термометр за середину, резервуаром книзу, не касаясь резервуара. Отсчеты надо производить с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ , хотя шкала имеет цену деления  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

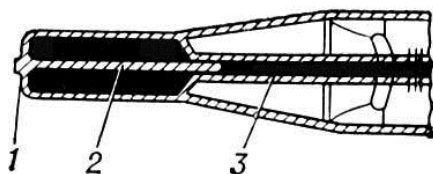


Рисунок 3.3 - Приспособление для сохранения максимальных показаний термометра

*1 — резервуар, 2 — штифт, 3 — капилляр*

**Минимальный термометр ТМ-2** применяют для измерения самой низкой температуры за период между сроками наблюдений. Это термометр спиртовой с ценой деления шкалы  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Рабочее положение — горизонтальное. Резервуар термометра имеет вид цилиндра, капилляр на конце, противоположном резервуару имеет расширение. Минимальные показания термометра определяют по находящемуся в капилляре (1) внутри

спирта легкому штифту (2), изготовленному из темного стекла с утолщениями на концах (в соответствии с рисунком 3.4). Длина штифта 12-13 мм. Принцип действия термометра основан на воздействии мениска термометрической жидкости (спирта) на штифт.

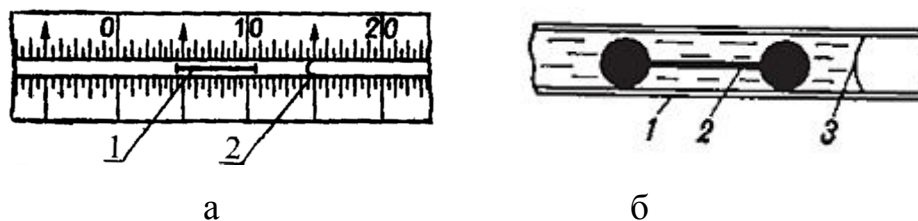


Рисунок 3.4 - Приспособление для отсчета минимальных показаний термометра

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

При подъеме резервуара термометра штифт свободно перемещается в спирте, но не выходит из него, так как не может прорвать поверхностную пленку, ограничивающую мениск спирта (3).

Штифт подобран таким образом, что силы трения его о стенки капилляра больше сил расширения спирта и меньше сил поверхностного натяжения пленки. Поэтому при повышении температуры спирт, расширяясь, свободно обтекает штифт, а при понижении ее после соприкосновения поверхностной пленки со штифтом последний перемещается вместе со спиртом в сторону резервуара. Двигается он до тех пор, пока температура понижается. При повышении температуры движение его прекращается. Поэтому положение штифта дает возможность измерить минимальную температуру между сроками наблюдений. Отсчет берут по концу штифта, противоположному резервуару.

При наблюдениях по минимальному термометру не ограничиваются только отсчетом минимальных значений температуры, также делают отсчеты температуры среды в момент измерений по концу столба спирта (мениску). Отсчеты делают параллельно с основными измерениями температуры по

психрометрическому (сухому) термометру. Они дают возможность сравнить показания и оценить погрешность в показаниях минимального термометра. Погрешность может быть связана с частичной дистилляцией спирта в верхней части капилляра (спирт испаряется и оседает в капилляре в виде мелких капелек), тогда объем спирта в резервуаре будет меньше, столбик спирта укорачивается, показания штифта и спирта будут занижены.

**Термограф** (рис. 3.5) служит для непрерывной записи изменений температуры воздуха во времени воздуха с погрешностью  $\pm 1^\circ\text{C}$  в одном из следующих диапазонов: от  $-45$  до  $35^\circ\text{C}$ ; от  $-35$  до  $45^\circ\text{C}$ ; от  $-25$  до  $55^\circ\text{C}$ .

Принцип действия термографа основан на свойстве биметаллической пластинки изменять радиус изгиба при изменении температуры воздуха. Деформация биметаллической пластинки с помощью передаточного механизма преобразуется в перемещение стрелки с пером по диаграммному бланку, закрепленному на барабане, вращаемом часовым механизмом.

Термограф состоит из следующих основных узлов:

- измерительного преобразователя температуры — биметаллической пластины (14);
- передаточного механизма: рычага (11), тяги (7), рычага (8) и оси (9);
- регулирующей части: стрелки (5) с пером (1) и барабана с часовым механизмом (18);
- корпуса, состоящего из основания и откидной крышки (19).

При изменении температуры воздуха меняется изгиб биметаллической пластины.

Биметаллическая пластина одним концом закреплена в коромысле (17), укрепленном с помощью кронштейна (12) на основном кронштейне (10), а другим концом соединена передаточным механизмом с осью (9), которая поворачивается вместе со стрелкой (5).

С помощью передаточного механизма деформация пластины преобразуется в перемещение стрелки с пером (при повышении температуры воздуха стрелка перемещается вверх, при понижении температуры воздуха - вниз).

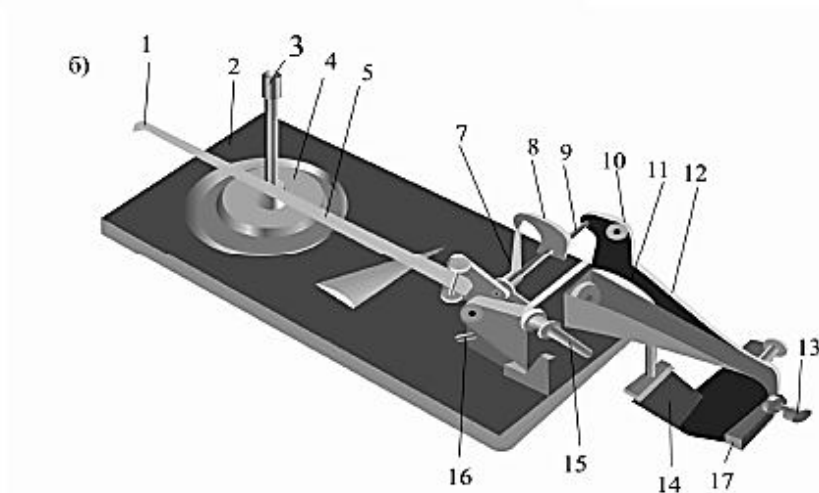
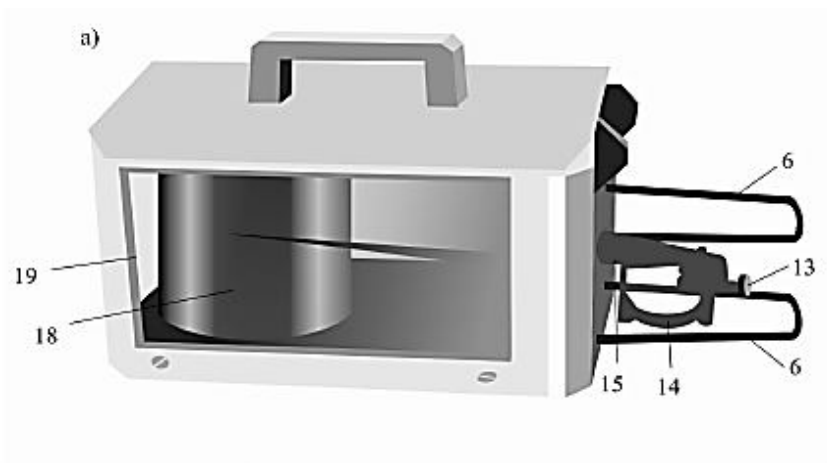


Рисунок 3.5 - Термограф метеорологический

*а — внешний вид, б — механизм термографа*

*1 — перо, 2 — основание корпуса, 3 — ось барабана, 4 — неподвижная шестерня, 5 — стрелка пера, 6 — защита пластины, 7 — тяга, 8, 11 — рычаги, 9 — ось стрелки, 10, 12 — кронштейны, 13 — установочный винт, 14 — биметаллическая пластина, 15 — отметчик времени, 16 — отвод стрелки, 17 — коромысло, 18 — барабан, 19 — откидная крышка*

Перо, надетое на конец стрелки, производит запись на диаграммном бланке, закрепленном на барабане (18). Барабан вращается вокруг вертикальной оси с помощью часового механизма, помещенного внутри него, и обеспечивает равномерное перемещение диаграммного бланка. В зависимости от скорости вращения барабана термографы делятся на суточные и недельные: у суточных продолжительность оборота 26 ч, а у недельных 176 ч.

Основная плата прибора, на которой смонтированы все его узлы и механизмы, помещена в пластмассовый корпус с откидной крышкой.



Биметаллическая пластина выведена наружу и предохраняется защитными дугами (6).

В корпус прибора вмонтирован пружинный замок с защелкой. Крышка корпуса открывается (закрывается) за рукоятку при одновременном нажиме на защелку замка.

Термограф снабжен отметчиком времени (15), дающим возможность нанесения пером на диаграммном бланке отметок времени наблюдений в виде вертикально расположенных засечек, пересекающих кривую записи. Отметку времени производят, не открывая крышку прибора, легким нажимом на кнопку отметчика времени, выведенную наружу корпуса прибора.

Перо заполняется специальными чернилами с примесью глицерина. Поэтому они медленно сохнут и не замерзают.

Диаграммный бланк разделен по вертикали горизонтальными параллельными линиями на деления, соответствующие  $1^{\circ}\text{C}$ , а по горизонтали - вертикальными дугообразными линиями на деления, соответствующие 15 мин времени оборота барабана. Цифры в верхней части бланка соответствуют часам суток.

Устройство регистрирующей части термографа аналогично устройству регистрирующей части барографа.

Установка пера стрелки на требуемое деление диаграммного бланка (перевод пера вверх или вниз) осуществляется установочным винтом (13).

**Установка.** Термограф устанавливают на нижней полке защитной будки БС-1, отличающейся от психрометрической только своими размерами. Полка укреплена так, чтобы приемник термографа находился на высоте 2 м от поверхности земли. Защитная будка располагается на расстоянии 4 – 5 м к востоку от психрометрической.

Перед установкой термографа часовой механизм с помощью ключа заводят до отказа, на барабан накладывают ленту и закрепляют лентодержателем. В таком виде барабан надевают на неподвижную ось

корпуса и к нему поворотом арретира подводят стрелку с пером. Перо на ленте должно показывать время и температуру воздуха в данный момент. Установку пера на время производят поворотом барабана вокруг неподвижной оси, а на температуру - изменением положения биметаллической пластинки с помощью винта (13). После этого крышку термографа закрывают.

Термограф - прибор относительный. Показания его сравнивают с показаниями психрометрического (сухого) термометра. Для этого в срочные наблюдения на ленте делают засечки легким подъемом пера с помощью нажима кнопки.

При смене лент на лицевой стороне снятой ленты отмечают фактическое время окончания записи, а на новой ленте – фактическое время начала записи. Кроме того, на обратной стороне ленты записывают название станции, номер прибора, дату наложения и снятия ленты (год, число, месяц) и время начала и конца записи с точностью до 1 мин. Смену лент производят в срок, ближайший к 13 ч декретного времени данного часового пояса.

**Обработка ленты термографа.** Сначала в нижней части ленты записывают ежечасные показания термографа с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Потом против меток, сделанных в «срочные» часы, пропуская одну строку, записывают показания психрометрического термометра (сухого) и вычисляют разность между показаниями психрометрического термометра и термографа. Эта разность представляет собой поправку в «срочные» часы. Записывают ее между снятым показанием термографа и показаниями психрометрического термометра. Предполагая, что поправка термографа в течение его работы изменялась равномерно, рассчитывают поправку для каждого часа. Для этого интерполируют величину поправок между двумя метками.

Например, поправка в 12 ч была  $-0,4^{\circ}\text{C}$ , в 18 ч стала  $+0,2^{\circ}\text{C}$ . За 6 ч работы поправка изменилась на  $0,6^{\circ}\text{C}$  (от  $-0,4$  до  $0,2^{\circ}\text{C}$ ), а за 1 ч – на  $0,1^{\circ}\text{C}$

(0,6:6). Зная изменение поправки за 1 ч, можно рассчитать поправку для каждого часа. В нашем примере получаются следующие значения (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1 - Значение поправок для обработки ленты термографа

Часы	12	13	14	15	16	17	18
Поправка, °С	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	+0,1	+0,2

Алгебраически суммируя поправку с показаниями термографа в соответствующие часы, получаем исправленные значения температуры по термографу. Аналогичная работа прodelывается и для других участков ленты.

### 3.3 Измерение температуры поверхности почвы

Для измерения температуры поверхности почвы используются жидкостные термометры: срочный, максимальный и минимальный.

**Срочный термометр ТМ-3** применяется для измерения температуры поверхности почвы в данный момент (срок). Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром. Деления на его шкале нанесены через 0,5°С.

Летом при высоких температурах почвы минимальный термометр может выйти из строя, поэтому на день (после срока 07 ч) его убирают, предварительно отсчитав показания по спирту и штифту и вновь устанавливают за полчаса до срока 19 ч.

**Установка.** На метеорологических станциях и постах термометры для измерения температуры поверхности почвы устанавливают на открытой площадке размером 4х6 м (рисунок 3.6). Предварительно с площадки удаляют растительный покров и взрыхляют ее. Все три термометра размещают в середине площадки резервуарами на восток, на расстоянии 10 – 15 см друг от друга в небольших углублениях, сделанных легким

вдавливанием термометров в почву, чтобы резервуары и наружная оболочка термометров были наполовину углублены в почву и резервуары плотно прикосались к почве. Срочный и минимальный термометры устанавливаются горизонтально, а максимальный – с небольшим уклоном в сторону резервуара, чтобы ртуть в капилляре не отходила от резервуара.

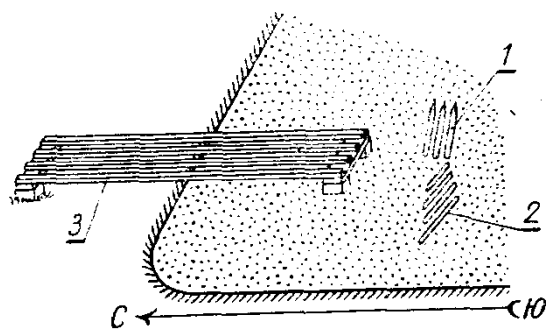


Рисунок 3.6 - Площадка для установки почвенных термометров

1 – термометры для измерения температуры поверхности почвы, 2 – коленчатые термометры,  
3 – реечный настил

Перед установкой в минимальном термометре штифт подводят к мениску спирта поворотом термометра резервуаром вверх, а максимальный термометр встряхивают. Для этого его берут за середину и делают несколько взмахов рукой. После встряхивания показания термометра должны быть близкими к показаниям срочного. Чтобы не уплотнять почву около термометров, для подхода к ним во время измерений с северной стороны кладут реечный настил (3). В полевых условиях термометры могут быть установлены на паровом поле, а для изучения термического режима среди растений – в междурядьях.

**Измерения.** Отсчеты производят с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$  на глаз. Вначале отсчитывают показания срочного термометра, затем минимального и максимального.

По минимальному термометру для проверки его исправности сначала отсчитывают показание мениска спирта (оно должно быть близко к

показанию срочного термометра), а затем штифта, дающего минимальную температуру между сроками наблюдений. На рисунке 3.4(а) показания мениска спирта соответствуют  $15,0^{\circ}\text{C}$ , а штифта  $10,5^{\circ}\text{C}$ . После измерения, приподняв резервуар термометра, штифт подводят к мениску спирта и термометр кладут на прежнее место.

Максимальный термометр после отсчета и записи показаний встряхивают, после встряхивания делают повторный отсчет и термометр кладут на прежнее место.

При обработке в показания минимального термометра наряду со шкаловой поправкой вводят еще добавочную поправку, представляющую собой осредненную за месяц разность между показаниями спирта минимального термометра и срочного ртутного термометра.

### **3.4 Измерение температуры почвы на глубинах**

Для измерения температуры почвы на разных глубинах применяют коленчатые термометры, вытяжные термометры или установку М-54-2 и термометры-щупы.

**Коленчатые термометры (Савинова) ТМ-5** предназначены для измерения температуры почвы в теплый период на глубинах 5, 10, 15, 20 см (пахотного слоя). В комплект входят четыре термометра, отличающиеся по длине нижней части. Коленчатые термометры ртутные с ценой деления  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Резервуары термометров цилиндрические. Несколько выше резервуара термометры изогнуты под углом  $135^{\circ}$  (рисунок 3.7).

Нижняя часть стеклянной защитной оболочки от резервуара до начала шкалы заполнена теплоизоляционным материалом, что уменьшает влияние на показания термометра слоя почвы, лежащего над его резервуаром, и тем самым обеспечивает более точное измерение температуры на той глубине, на которой установлен резервуар.

**Установка.** Коленчатые термометры устанавливают на одной площадке с термометрами для измерения температуры поверхности почвы (см. рис. 3.6, обозначение (2)). Выступающие из почвы части термометров располагают с востока на запад в порядке возрастания глубин на расстоянии около 10 см друг от друга. Резервуары термометров должны быть обращены на север.

Для установки коленчатых термометров выкапывают траншею в виде трапеции *ABCD* (рис. 3.7). Направление ее не точно по линии восток – запад,

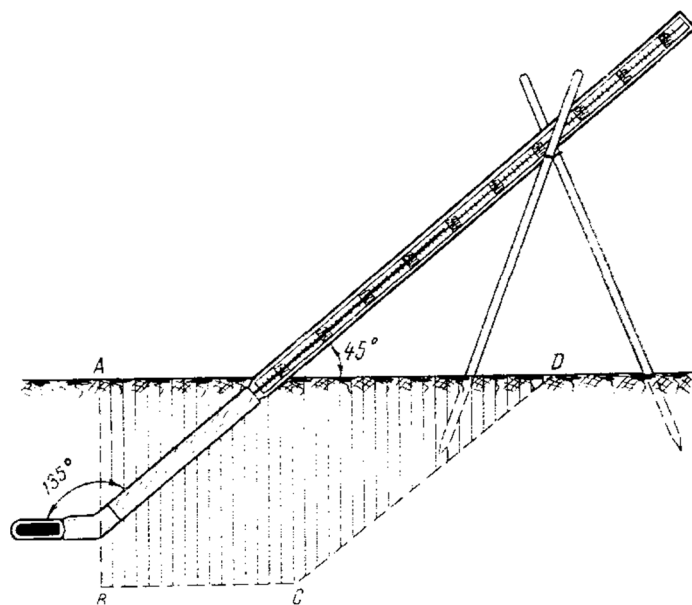


Рисунок 3.7 - Установка коленчатых термометров

а с отклонением от этой линии к северу примерно на  $30^\circ$ . Одна сторона *AB* траншеи отвесная. В ней на заданной глубине делают углубления, параллельные поверхности почвы. В эти углубления вдавливают резервуары термометров до самого изгиба. Для контроля установки проверяют угол наклона выступающей части термометров к поверхности почвы. Этот угол должен быть равен  $45^\circ$ . Затем траншею засыпают землей, сохраняя последовательность вынутых пластов, и для устойчивости выступающую часть термометров подпирают рогаткой.

Отсчеты по термометрам производят с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

**Вытяжные термометры ТПВ-50** предназначены для измерений температуры почвы на глубинах 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240 и 320 см. На рисунке 3.8 приведен общий вид установки почвенно-глубинных термометров.

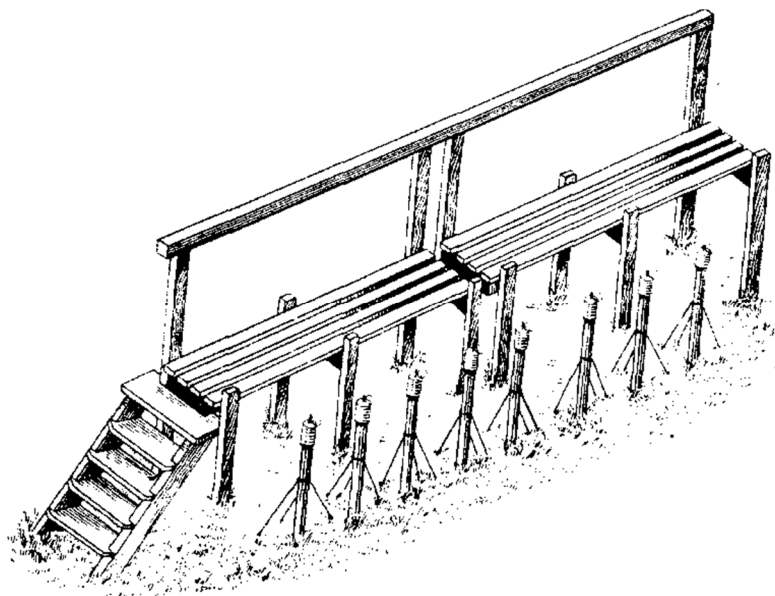


Рисунок 3.8 – Общий вид установки почвенно-глубинных термометров

В устройстве вытяжного термометра (рис. 3.9) на каждой глубине применяют ртутный термометр ТМ-10 с ценой деления  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Термометр (1) помещают в специальную винипластовую оправу (2) с металлическим наконечником (3). Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра пространство между резервуаром термометра и стенками наконечника заполнено медными опилками. Оправа с термометром крепится на деревянном шесте (4), длина которого зависит от глубины установки термометра. Шест заканчивается колпачком (5) с кольцом (6).

Деревянный шест с укрепленным на нем термометром в оправе опускают в пластмассовую или эбонитовую трубу (7), имеющую на нижнем конце металлический колпачок (8). Такие трубы, обладающие плохой теплопроводностью, сводят к минимуму обмен теплом между верхними слоями почвы и термометром.

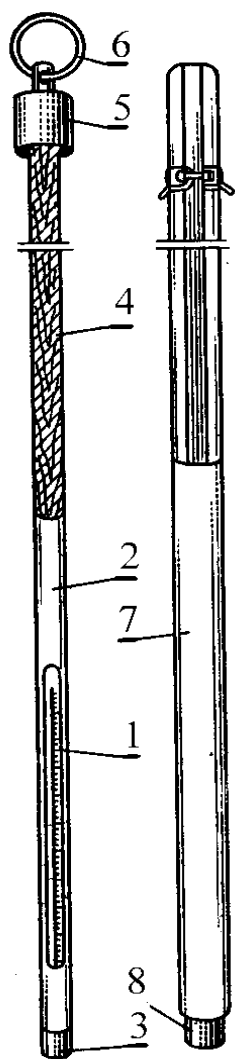


Рисунок 3.9 –  
Устройство  
вытяжного  
термометра

Резервуар термометра воспринимает температуру только того слоя почвы, на котором находится металлический колпачок. При опускании термометра в трубу нужно рассчитать, чтобы он только слегка касался доньшка металлического колпачка. Основной упор термометра должен приходиться на колпачок, который одновременно закрывает трубу сверху.

Часть трубы, погруженная в землю, окрашивается обычно в зеленый цвет, а выступающая над почвой часть – в белый.

**Установка.** Вытяжные термометры размещают на открытом месте с естественным покровом на расстоянии 3 – 4 м к востоку от коленчатых термометров. С помощью бура делают скважины нужной глубины и в них устанавливают трубы в один ряд через 50 см в направлении с востока на запад по возрастающей глубине. Трубы должны выступать над поверхностью почвы на 50 – 100 см во избежание заноса их снегом в зимний период. После установки труб в них опускают термометры.

Чтобы почва вокруг термометров не уплотнялась, отсчет по ним производят со специального откидного помоста, расположенного с северной стороны от термометров на расстоянии 30 см, на одном уровне с верхним концом труб (рис. 3.8). В период между измерениями помост должен находиться в вертикальном положении.

**Измерения.** Термометр вынимают из трубы за кольцо и быстро отсчитывают показания. Рекомендуется в начале отсчитать десятые доли, а



потом целые градусы. Отсчеты по термометрам, расположенным на глубине 80 см и более; производят только один раз в сутки, так как с этой глубины суточные колебания температур затухают. В показания термометров вводят шкаловые поправки.

**Термометр-щуп АМ-6** (рис. 3.10) служит для измерения температуры почвы в пахотном слое на глубине от 3 до 40 см. Термометрическая жидкость в термометре – толуол. Термометр с ценой деления  $1,0^{\circ}\text{C}$  помещается в металлическую оправу, нижний конец которой заострен в виде конусообразного наконечника. В нем находится резервуар термометра. Чтобы тепло не передавалось от оправы к резервуару термометра, наконечник изолирован от остальной части оправы эбонитовой прокладкой. Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра его резервуар погружен в медные опилки. В верхней части оправы имеется прорезь, через которую видна шкала термометра.



Рисунок 3.10 - Термометр-щуп АМ-6

На противоположной стороне оправы нанесены деления в сантиметрах для определения глубины установки термометра (нуль шкалы совпадает с местом расположения резервуара). Верхний конец оправы заканчивается ручкой, служащей для упора при погружении термометра в почву.

**Установка.** Для наблюдений термометр вертикально устанавливают в почву на заданную глубину. Если почва уплотнена, то вначале делают скважину стержнем соответствующего диаметра на глубину несколько

меньше необходимой, а затем в эту скважину опускают термометр, вдавливая его до заданной глубины.

**Измерения** производят через 10 – 15 мин после установки с точностью до 0,5°C. При установке термометра на небольших глубинах (5 – 10 см) отсчеты производят, не вынимая его из почвы.

Термометр-щуп переносят и хранят в вертикальном положении.

### **3.5 Измерение глубины промерзания почвы**

Для оценки условий перезимовки растений важное значение имеет промерзание почвы. Глубину промерзания почвы определяют мерзлотомером, который устанавливают на метеорологической площадке и на посевах озимых культур.

**Мерзлотомер АМ-21** состоит из резиновой трубки длиной 150 или 300 см, на которой нанесены деления (цена деления 1 см) с нулем у верхнего конца, и водонепроницаемой защитной трубы, закрытой с нижнего конца. В верхней части трубы, которая выступает из почвы, нанесены деления в сантиметрах для определения высоты снежного покрова.

Резиновая трубка заполняется дистиллированной водой и с обоих концов закрывается капроновыми пробками. Внутри трубки проходит капроновый шнур с узелками, препятствующий передвижению образовавшегося в ней столбика льда. Верхний конец трубки присоединяется с помощью шнура, деревянной или пластмассовой штанги к колпачку с кольцом, который плотно закрывает защитную трубку. Если трубка соединяется с колпачком шнуром, то на него надевают теплоизоляционные пробки.

**Установка.** Мерзлотомер устанавливают в почву за 2 – 3 недели до начала заморозков на площадке около вытяжных термометров и на посевах озимых не более чем в 2 – 3 м от места установки термометров АМ-17 или АМ-2М-1. Вначале устанавливают в заранее подготовленную скважину

защитную трубу так, чтобы нулевое деление ее совпало с поверхностью почвы. Зазоры между стенкой скважины и трубой плотно засыпают землей. Для прочности защитную трубку укрепляют растяжками. После этого в защитную трубу опускают резиновую трубку, заполненную водой и присоединенную к колпачку.

**Измерения.** Отсчеты по мерзлотомеру начинают с момента наступления отрицательных температур и продолжают до полного оттаивания почвы. Для измерения глубины промерзания почвы резиновую трубку вытягивают и двумя пальцами прощупывают ее сверху вниз, определяя границы столбика льда. По делениям на трубке отсчитывают глубину промерзания и толщину мерзлого слоя почвы с точностью до 1 см. После измерения резиновую трубку вновь опускают в защитную трубу.

Во время измерения глубины промерзания почвы отмечают также высоту снежного покрова.

### **Задания**

1. Изучить устройство термометров для измерения температуры поверхности почвы (срочный ТМ-3, максимальный ТМ-1, минимальный ТМ-2), правила установки, измерений и обработки данных.

2. Изучить устройство термометров для измерения температуры почвы на различных глубинах в стационарных и полевых условиях (коленчатые термометры ТМ-5, термометр-щуп АМ-6, вытяжные термометры ПТВ-50), правила установки, измерений и обработки данных.

3. Изучить устройство мерзлотомера АМ-21 для измерения глубины промерзания почвы. Освоить правила установки приборов и измерений по ним.

4. Изучить термометры для измерения температуры воздуха (психрометрический ТМ-4, максимальный, минимальный), термограф для непрерывной записи изменений температуры, правила установки, измерений и обработки данных.

5. Построить графики суточного и годового хода температуры воздуха, температуры поверхности почвы и на глубинах 20 и 80 см по данным наблюдений метеостанции<sup>1</sup>. По графикам суточного и годового хода определить время наступления максимума и минимума, суточную и годовую амплитуду колебания температуры. По графику годового хода температуры воздуха определить даты перехода температуры через 0, 5, 10, 15°C и продолжительность периодов с температурой выше 0, 5, 10, 15°C.

6. Опишите суточный ход температуры поверхности почвы. Объясните, почему максимум температуры поверхности почвы приходится на середину дня, а не на его конец?

### **Контрольные вопросы**

1. Как проводятся наблюдения за температурой воздуха по психрометрическому (ТМ-4), максимальному (ТМ-1) и минимальному (ТМ-2) термометрам?

2. Какие термометры используются для измерения температуры почвы и снежного покрова?

3. Как влияет почвенный покров на температуру поверхности почвы?

4. Какие основные условия необходимо соблюдать при производстве измерений по коленчатым термометрам Савинова?

5. Для чего предназначены вытяжные почвенно-глубинные термометры? Каковы правила их установки?

6. Как проводятся измерения температуры почвы на глубинах на участках без растительного покрова и под естественным покровом? Дайте сравнительную характеристику методам измерения.

---

#### <sup>1</sup> **Примечание**

Графики лучше всего строить на миллиметровой бумаге. По оси на графике суточного хода откладывают часы (1 ч - 5 мм), на графике хода – месяцы (1 месяц - 10 мм), по оси ординат – температуру (1°C - 10 мм). На каждом графике получится четыре кривые, соответствующие ходу температуры воздуха и почвы. Для большей наглядности их рекомендуется вычерчивать разным цветом.

## **4 Измерение влажности воздуха**

Содержание водяного пара, находящегося в атмосфере, характеризуется влажностью воздуха. Водяной пар непрерывно поступает в атмосферу путём испарения с водных поверхностей и влажной почвы, а также в результате транспирации растениями, при этом в разных местах и в разное время он поступает в различных количествах. От земной поверхности водяной пар распространяется вверх, а воздушными течениями переносится из одних мест Земли в другие.

С водяным паром и его переходами из газообразного состояние в жидкое и твёрдое связаны важнейшие процессы погодо- и климатообразования. Наличие водяного пара в атмосфере существенно сказывается на тепловых условиях атмосферы и земной поверхности. Водяной пар сильно поглощает длинноволновую инфракрасную радиацию, которую излучает земная поверхность. В свою очередь он и сам излучает инфракрасную радиацию, большая часть которой идёт к земной поверхности. Это уменьшает ночное охлаждение земной поверхности и тем самым также нижних слоёв воздуха. На испарение воды с земной поверхности затрачиваются большие количества тепла, а при конденсации водяного пара в атмосфере это тепло отдаётся воздуху. Облака, возникающие в результате конденсации, отражают и поглощают солнечную радиацию на её пути к земной поверхности. Осадки, выпадающие из облаков, являются важнейшим элементом погоды и климата. Наличие водяного пара в атмосфере имеет большое значение и для физиологических процессов.

### **4.1 Определение величин влажности воздуха**

Для оценки влажности воздуха на практике используют абсолютную влажность, парциальное давление водяного пара, относительную влажность, дефицит насыщения, точку росы.

**Абсолютная влажность**  $a$  – масса водяного пара, содержащаяся в единице объема воздуха. Выражается она в  $\text{кг}/\text{м}^3$  или  $\text{г}/\text{м}^3$ .

**Парциальное давление водяного пара**  $e$  – давление, которое имел бы водяной пар, содержащийся в газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре. Парциальное давление водяного пара выражается в гектопаскалях (гПа):  $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} = 0,75 \text{ мм рт.ст.}$

Между абсолютной влажностью  $a$  и парциальным давлением водяного пара  $e$  существует зависимость:

$$\alpha = \frac{0,86e}{1 + at} \quad (4.1)$$

где  $a$  – коэффициент объемного расширения газа ( $1/273$ ).

Парциальное давление водяного пара может возрасти до определенного предела, который соответствует парциальному давлению водяного пара, находящегося в равновесии с плоской поверхностью воды, и называется **давлением насыщенного водяного пара**  $E$ . Вычисленные значения давления насыщенного водяного пара над плоской поверхностью чистой воды и чистого льда для различных температур воздуха даны в психометрических таблицах.

**Относительная влажность**  $f$  – отношение парциального давления водяного пара к давлению насыщенного водяного пара при одних и тех же значениях давления и температуры, выраженное в процентах. Относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяным паром при данной температуре:

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100 \quad (4.2)$$

**Дефицит насыщения**  $d$  – разность между давлением насыщенного водяного пара и парциальным давлением водяного пара при одних и тех же значениях давления и температуры:

$$d = E - e. \quad (4.3)$$

**Точка росы**  $t_d$  – температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, при неизменном давлении достигает насыщения относительно плоской поверхности чистой воды или льда ( $e=E$ ). Для определения точки росы использовать психрометрические таблицы. В этом случае по таблицам находят значение температуры, соответствующее парциальному давлению водяного пара.

## 4.2 Методы измерения влажности воздуха

Влажность воздуха может быть измерена несколькими методами. Наибольшее распространение получили психрометрический и гигрометрический методы.

**Психрометрический метод** основан на зависимости интенсивности испарения с водной поверхности от влажности окружающего воздуха. Влажность воздуха определяется по разности показаний двух одинаковых психрометрических термометров – сухого и смоченного. С поверхности резервуара смоченного термометра происходит испарение. Чем суше воздух, тем интенсивнее испарение с резервуара смоченного термометра и тем ниже его показания по сравнению с сухим термометром.

Парциальное давление водяного пара вычисляется по психрометрической формуле. Если на батисте смоченного термометра вода, то используют формулу:

$$e = E'_e - Ap (t - t'), \quad (4.4)$$

если же на батисте лед, то применяют формулу:

$$e = E'_л - Ap (t - t'), \quad (4.5)$$

где  $E_г$  и  $E_л$  – давление насыщенного водяного пара над плоской поверхностью чистой воды и чистого льда при температуре смоченного термометра, в гПа;  $p$  – атмосферное давление, в гПа;  $t$  и  $t'$  – температура сухого и смоченного термометров, в °С;  $A$  – психрометрический коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха около резервуара смоченного термометра (для стационарного психрометра  $A = 0,000\ 794\ 7\ ^\circ\text{C}^{-1}$ , для аспирационного психрометра  $A = 0,000\ 662\ ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

**Гигрометрический метод** измерения влажности воздуха основан на использовании гигроскопических свойств обезжиренного человеческого волоса. При изменении влажности воздуха волос меняет свою длину неравномерно (при пониженной влажности быстрее, чем при повышенной) и не каждый одинаково, поэтому в приборах используют только такой волос, изменение длины которого соответствует определенной закономерности.

### 4.3 Приборы для измерения влажности воздуха

Для измерения влажности воздуха психрометрическим методом служат стационарный и аспирационный психрометры, а гигрометрическим – гигрометры. Для непрерывной регистрации влажности воздуха применяются гигрографы.

**Стационарный психрометр** состоит из двух одинаковых психрометрических термометров ТМ-4 с ценой деления  $0,2^\circ\text{C}$ . Для психрометров подбирают термометры из одной партии изготовления и поверки. Оба термометра должны соответствовать ГОСТу. Левый термометр психрометра принято называть сухим, правый – смоченным.



**Установка.** Психрометрические термометры помещают на штативе в психрометрической будке. Резервуар смоченного термометра (1) (рис. 4.1) плотно обвязывается батистом и нижний конец его погружается в стаканчик (2) с дистиллированной водой (для смачивания батиста применяется только дистиллированная вода). Стаканчик устанавливается в проволочном кольце (3), закрепленном на штативе винтом (4). Для защиты воды от загрязнения стаканчик закрывается стеклянной или цинковой крышкой с прорезью. Чтобы края стаканчика не мешали обмену воздуха и около резервуара термометра не создавалась повышенная влажность, верхний край стаканчика должен находиться на расстоянии 2 – 3 см от резервуара термометра.

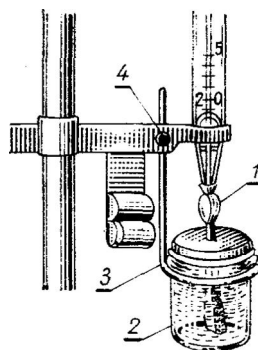


Рисунок 4.1 - Смоченный термометр и психрометрический стаканчик

*1 – резервуар смоченного термометра, 2 – стаканчик, 3 – проволочное кольцо, 4 – винт.*

Точность измерения влажности воздуха по психрометру зависит от интенсивности испарения с поверхности батиста. Поэтому для получения надежных данных необходимо иметь специальный сорт батиста, правильно повязывать его и следить за его чистотой. В психрометрах применяют такой батист, который поднимает воду на 7 – 8 см за 15 мин. Для повязки батиста термометр по возможности закрепляют неподвижно (можно вложить в книгу). Затем, подобрав батист соответствующего качества и размера (края батиста должны заходить друг на друга не более чем на 1/4 окружности резервуара), его смачивают дистиллированной водой и в мокром виде плотно обертывают вокруг резервуара термометра, закрепляя петлями из ниток в

двух местах. Петлю крепко затягивают над резервуаром и слабо – под резервуаром, чтобы не нарушать тягу воды. Загрязненный батист плохо впитывает воду, поэтому батист следует менять не реже двух раз в месяц.

**Измерения.** Точность отсчетов по термометрам при психрометрических измерениях должна быть  $0,1^{\circ}\text{C}$ , тогда будет обеспечена достаточная точность определения относительной влажности  $\pm 1\%$ . Батист термометра всегда должен быть хорошо смочен. Поэтому необходимо следить, чтобы стаканчик всегда был наполнен водой до кольцевого ободка.

Необходимо соблюдать правила измерений. Во-первых, батист должен быть хорошо смочен за 10 – 15 мин до отсчета, для этого погружают резервуар термометра с батистом в стаканчик. Во-вторых, отсчеты по термометрам должны проводиться быстро - сначала десятые доли градуса (как у сухого, так и у смоченного термометра), затем целые градусы обоих термометров. Наблюдатель во время проведения отсчета должен задержать дыхание или, по крайней мере, не дышать на термометры.

Измерения при отрицательных температурах требуют повышенного внимания и соблюдения правил эксплуатации психрометра. При отрицательных температурах упругость водяного пара  $e$  мала, поэтому небольшие ошибки в определении  $t$  и  $t'$  вызывают большую ошибку в определении влажности.

С наступлением заморозков батист обрезают непосредственно под шариком резервуара термометра и стаканчик с водой убирают из будки. Смачивают батист за 30 мин до отсчета водой комнатной температуры, погружая резервуар смоченного термометра в стаканчик. Стаканчик убирают после того, как температура смоченного термометра повысится на  $2 - 3^{\circ}\text{C}$  выше  $0^{\circ}\text{C}$ . Это означает, что старая ледяная корка на батисте растаяла.

В положенный срок (через 30 мин) производят измерения температуры. Отсчеты производят быстро, причем сначала отсчитывают десятые доли, а потом целые градусы сухого и смоченного термометров. После производства отсчетов необходимо наощупь установить, обмерз батист или остался

мягким. Это важно для определения влажности, т.к. над льдом упругость насыщения ниже, чем над переохлажденной водой.

Надежные данные влажности воздуха по психрометрам получают при температуре до  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Вычисление характеристик влажности воздуха производят по показаниям сухого и смоченного термометров. Парциальное давление водяного пара вычисляют по психрометрическим формулам (4.4) или (4.5), относительную влажность – по формуле (4.2), дефицит насыщения – по формуле (5.3), точку росы – по психрометрическим таблицам.

Парциальное давление водяного пара и дефицит насыщения вычисляют с точностью до 0,1 гПа, а при отрицательной температуре – до 0,01 гПа, относительную влажность – с точностью до 1 %.

***Пример:** Температура по сухому термометру  $20,0^{\circ}\text{C}$ , по смоченному термометру  $17,5^{\circ}\text{C}$ , давление воздуха  $1000,0$  гПа.*

*По психрометрическим таблицам находим давление насыщенного водяного пара по показанию смоченного термометра; при  $t' = 17,5^{\circ}\text{C}$   $E = 20,0$  гПа. Подставляем данные в формулу (5.4) и определяем парциальное давление водяного пара:*

$$e = 20,0 - 0,0007947 \cdot 1000 (20,0 - 17,5) = 18,0 \text{ гПа.}$$

*Для определения относительной влажности и дефицита насыщения по психрометрическим таблицам находим давление насыщенного водяного пара по показанию сухого термометра ( $t = 20,0^{\circ}\text{C}$ ,  $E = 23,4$  гПа) и вычисляем относительную влажность и дефицит насыщения:*

$$f = \frac{180}{234} \cdot 100 = 77\%, \quad d = 234 - 5,4 \text{ гПа}$$

*Точка росы при  $e = 18,0$  гПа будет равна  $15,8^{\circ}\text{C}$ .*

Психрометрические таблицы содержат семь таблиц, основной из них является таблица 2, в которой приведены температуры сухого и смоченного термометров с соответствующими им величинами влажности воздуха.

При определении величин влажности воздуха с помощью психрометрических таблиц выбирают графу, соответствующую температуре

сухого термометра, и в горизонтальной строке против значения температуры смоченного термометра находят величины влажности воздуха:  $t_d, e, f, d$ .

Таблицы составлены для стационарного психрометра и давления 1000 гПа. Поэтому при давлении, отличающемся от 1000 гПа, по табл. 3а или 3б Психрометрических таблиц [7] (в зависимости от разности показаний сухого и смоченного термометров) находят поправку на атмосферное давление к парциальному давлению водяного пара ( $\Delta e$ ). Если на батисте лед, то пользуются таблицей 3в. Поправка имеет положительный знак для давления меньше 1000 гПа и отрицательный для давления больше 1000 гПа. После этого по исправленному значению парциального давления водяного пара ( $e \pm \Delta e$ ) и температуре сухого термометра определяют исправленные значения характеристик влажности воздуха.

***Пример:**  $t = 22,0^\circ\text{C}$ ,  $t' = 14,5^\circ\text{C}$ ,  $p = 1020$  гПа. Определить по психрометрическим таблицам  $t_d, e, f, d$ .*

*Так как давление воздуха отличается от 1000 гПа, то сначала по Психрометрическим таблицам (табл. 2) по данным  $t$  и  $t'$  находим парциальное давление водяного пара ( $e = 10,4$  гПа), потом (табл. 3а) – поправку ( $\Delta e = 0,12$  гПа) и определяем исправленное значение:  $e_{\text{испр}} = 10,4 - 0,12 \approx 10,3$  гПа. Теперь возвращаемся (к табл. 2) при  $t = 22,0^\circ\text{C}$  в строке  $e = 10,3$  гПа находим другие величины влажности:  $t_d = 7,4^\circ\text{C}$ ,  $f = 39\%$ ,  $d = 16,1$  гПа.*

**Аспирационный психрометр МВ-4М** очень удобен для измерения влажности воздуха в походных условиях. По принципу действия он аналогичен стационарному.

Аспирационный психрометр (рис. 4.2) состоит из двух одинаковых психрометрических термометров ТМ-6 (1) и (2) с резервуарами цилиндрической формы.

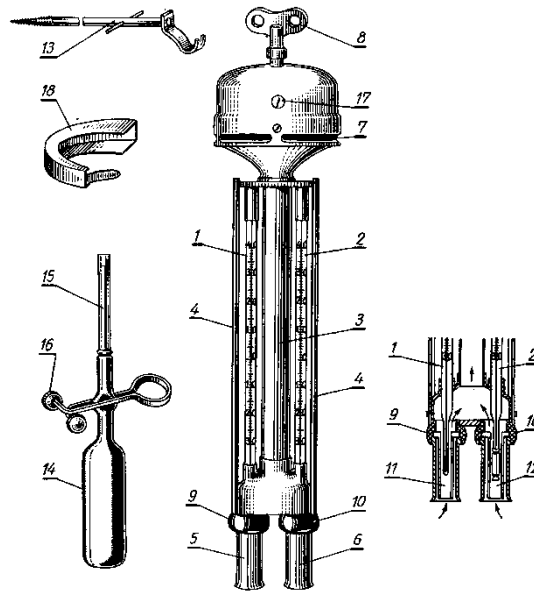


Рисунок 4.2 - Аспирационный психрометр МВ-4М

1, 2 – сухой и смоченный термометры, 3 – трубка, 4 – защитные планки, 5, 6, 11, 12 – трубки,  
7 – головка аспиратора, 8 – ключ, 9, 10 – изоляционные втулки, 13 – крюк-подвес,  
14 – резиновая груша, 15 – пипетка, 16 – зажим, 17 – окошечко, 18 – ветровая защита

Резервуар термометра (2) (смоченного) обвязан батистом, обрезанным непосредственно под резервуаром. Термометры закреплены в оправе, состоящей из трубки (9), переходящей в тройник, и защитных планок (4). К тройнику с помощью изоляционных пластмассовых втулок (9, 10) присоединены двойные трубки (5, 6) и (11, 12), в которых находятся резервуары термометров. Чтобы уменьшить теплопередачу от наружных трубок, внутренние трубки в верхней части опираются на наружные через изоляционные кольца. Двойные трубки обеспечивают защиту резервуаров от нагревания солнечными лучами.

Верхний конец трубки (3) соединен с головкой аспиратора (7), обеспечивающего всасывание наружного воздуха и обтекание его вокруг резервуаров термометров со скоростью 2 м/с. Пружина аспиратора заводится ключом (8). Для лучшего отражения солнечных лучей металлические части прибора никелированы. Благодаря изоляции резервуаров термометров от корпуса, хорошей никелировке его металлических поверхностей и

постоянной скорости движения воздуха аспирационный психрометр не требует дополнительной защиты от действия солнечных лучей и ветра. Лишь при больших скоростях ветра за счет затруднения выброса воздуха нарушается скорость аспирации. Для устранения этого влияния применяют ветровую защиту (18), которую надевают с наветренной стороны на головку аспиратора.

Смачивание батиста производится из резиновой груши (14) со стеклянной пипеткой (15) и зажимом (16); груша наполняется дистиллированной водой. Для установки психрометра прилагается крюк-подвес (13).

При работе с аспирационным психрометром необходимо следить за сохранностью его никелировки, исправностью аспиратора и трубок, предохраняющих резервуары. После наблюдений прибор следует протирать замшей или чистой тряпкой и хранить в футляре. Периодически необходимо проверять скорость аспирации. Осуществляют это путем определения скорости вращения барабана с заводной пружиной. С этой целью заводят пружину и, наблюдая в окошечко (17) головки аспиратора, ожидают появления метки, сделанной на барабане для проверки психрометра. В момент появления метки аспиратор задерживают кусочком картона. Затем пружину заводят еще раз и аспиратор пускают одновременно с секундомером. Когда в окошечке вторично появится метка, секундомер останавливают и отмечают время полного оборота. Если полученное время оборота барабана отличается от времени, указанного в поверочном свидетельстве, не более чем на  $\pm 5$  с, прибор исправен. В среднем барабан делает полный оборот за 80 – 95 с.

Для правильной работы психрометра необходимо следить за чистотой батиста и менять его по мере загрязнения.

**Установка.** В стационарных условиях прибор подвешивают на специальном столбе (резервуары термометров должны находиться на высоте 2 м) с наветренной стороны. Наблюдатель при измерении должен подходить

с подветренной стороны, т. е. так, чтобы ветер был направлен от прибора к наблюдателю. В полевых условиях психрометр подвешивают на тонком шесте, закрепленном в почве, или кладут горизонтально на специальную подставку (рис. 4.3).

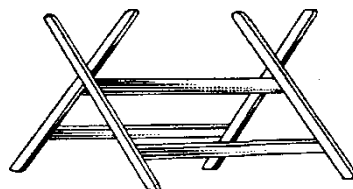


Рисунок 4.3 - Подставка для аспирационного психрометра

При горизонтальной установке прибора необходимо следить, чтобы прямые солнечные лучи не попадали на резервуары термометров. При скорости ветра более 3 м/с во время наблюдений на аспиратор надевают с наветренной стороны защиту.

Высота установки психрометра может быть различной и зависит от цели наблюдений.

**Измерения.** Аспирационный психрометр выносят на место измерений зимой за 30 мин, а летом за 15 мин до начала наблюдений, смачивают батист дистиллированной водой из резиновой груши зимой за 30 мин, летом за 4 мин до отсчета. Для смачивания, ослабив зажим (16), поднимают воду из груши в стеклянную пипетку (15) до указанной на ней черты и осторожно вводят пипетку на 3 – 5 с в трубку, в которой находится резервуар смоченного термометра. Затем воду из пипетки опускают и пипетку вынимают из трубки. После этого ключом (8) заводят до отказа пружину аспиратора. Так как во время отсчета аспиратор должен работать полным ходом, то зимой (за 4 мин до отсчета) пружину аспиратора заводят вторично. Отсчеты производят быстро. Сначала отсчитывают десятые доли сухого и смоченного термометров, а потом целые градусы.

Форма записи и обработки наблюдений приводится в таблице 4.1.

Вычисление величин влажности воздуха по показаниям аспирационного психрометра выполняется так же, как и по показаниям стационарного. Только при определении парциального давления водяного пара в психрометрических формулах (4.4) или (4.5) подставляют психрометрический коэффициент  $A = 0,000662$ . Относительную влажность и дефицит насыщения рассчитывают по формулам (4.2), (4.3), а точку росы определяют по психрометрическим таблицам.

Таблица 4.1 - Форма записи измерений

Дата

Время наблюдений

№ отсчета	Сухой термометр			Смоченный термометр			атмосферное давление	Величины влажности					
	отсчет	поправка	исправленное значение	отсчет	поправка	исправленное значение		$E'$	$E$	$e$	$f$	$d$	

В психрометрических таблицах величины влажности воздуха по данным аспирационного психрометра определяются так же, как и по данным стационарного. Разница состоит в том, что поправка к парциальному давлению водяного пара на атмосферное давление и скорость аспирации определяется по психрометрическим таблицам (таб. 4а, 4б или 4в) в зависимости от разности показаний сухого и смоченного термометров. Поправка к парциальному давлению водяного пара всегда положительная.

**Пример:**  $t = 24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t' = 16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1010\text{ гПа}$ .

По показаниям сухого и смоченного термометров в Психрометрических таблицах (табл. 2) находим парциальное давление водяного пара ( $e = 12,3\text{ гПа}$ ), потом (табл. 4а) находим поправку на давление и психрометрический коэффициент ( $\Delta e = 1,01\text{ гПа}$ ) и определяем исправленное значение:  $e_{\text{испр}} = 12,3 + 1,01 = 13,3\text{ гПа}$ . После этого по исправленному значению парциального давления водяного пара и температуре сухого термометра (табл. 2) находим другие исправленные значения влажности:  $t_d = 11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $f = 43\%$ ,  $d = 17,4\text{ гПа}$ .



**Волосной гигрометр** применяется для измерения относительной влажности воздуха. При температуре воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  он является основным прибором для измерений влажности воздуха.

Приемной частью гигрометра (рис. 4.4) служит обезжиренный человеческий волос (1), натянутый на металлическую раму (2). Верхний конец его закреплен в хвостовике регулировочного винта с контргайкой, а нижний связан со стрелкой (3). Под действием изменения длины волоса и грузика, поддерживающего волос в натянутом состоянии, стрелка вместе с осью поворачивается и фиксирует изменения относительной влажности воздуха на шкале (4) с делениями от 0 до 100 % (цена одного деления 1 %). Так как волос меняет свою длину с изменением влажности неравномерно, то и деления на шкале имеют неравные промежутки: в начале шкалы они больше, чем в конце.

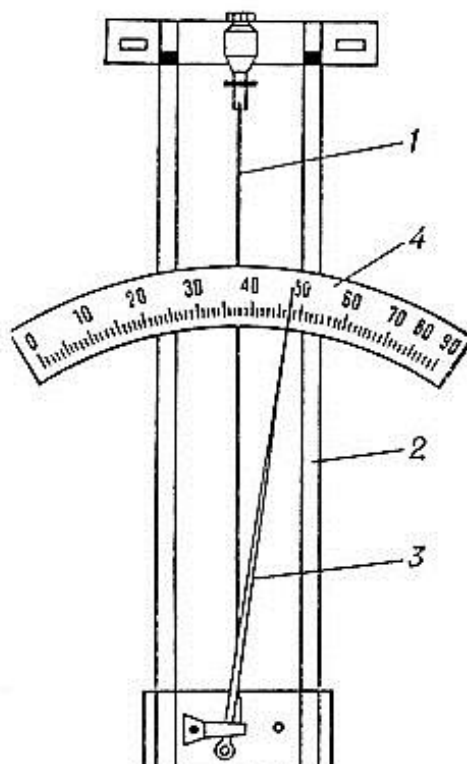


Рисунок 4.4 - Волосной гигрометр МВ-1

*1 – волос, 2 – рама, 3 – стрелка, 4 – шкала*

**Установка.** Волосной гигрометр устанавливают на штативе в психрометрической будке между сухим и смоченным термометрами. Перед подготовкой гигрометра к работе стрелку устанавливают соответственно показаниям психрометра. Для этого освобождают контргайку и поворотом регулировочного винта перемещают стрелку на заданное деление.

После этого регулировочный винт снова закрепляют контргайкой. Регулировка гигрометра производится только при высокой влажности воздуха (больше 70 %).

Измерения производят с точностью до 1 %. Для контроля исправности прибора стрелку отводят немного влево. Если стрелка возвращается в первоначальное положение, прибор работает нормально.

**Волосной гигрометр** – относительный прибор, но в зимнее время, при  $t \leq -10^{\circ}\text{C}$  он является основным прибором, измеряющим относительную влажность воздуха на метеостанциях. Поэтому его показания сравнивают с показаниями психрометра. Для этого строят график по ежедневным отсчетам психрометра и волосного гигрометра в течение одного месяца до наступления морозов: по оси абсцисс откладывают относительную влажность по гигрометру, по оси ординат – относительную влажность по психрометру (рис. 4.5). Если данные измерений и состояние гигрометра были удовлетворительными, то все точки, соответствующие влажности воздуха по психрометру и гигрометру, располагаются узкой полосой, среди которых проводят плавную линию с углом наклона к осям координат почти  $45^{\circ}$ . Исправленные значения влажности воздуха при измерениях в зимнее время находят по графику с помощью указанной линии зависимости или по таблице, составленной на основании данных, снятых с графика (такая таблица приведена с правой стороны рисунка 4.5). В этой таблице показания гигрометра даны в левой крайней графе (десятки) и верхней горизонтальной строке (единицы). Исправленное значение влажности воздуха определяется на пересечении десятков и единиц влажности воздуха по гигрометру.

Допустим, отсчет по гигрометру составляет 75%. Исправленное значение относительной влажности воздуха (по таблице) будет 73 %.

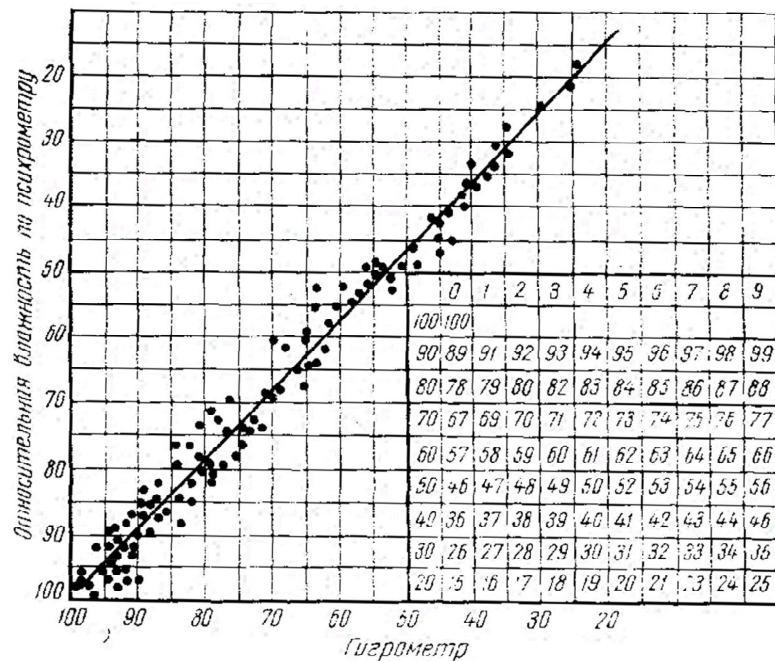


Рисунок 4.5 - График для приведения показаний гигрометра к показаниям психрометра

По результатам измерений относительной влажности и температуры воздуха вычисляют парциальное давление водяного пара по формуле (4.2), дефицит насыщения по формуле (4.3) и точку росы по психрометрическим таблицам [7].

Пример:  $f = 50\%$ ,  $t = 24,1\text{ }^\circ\text{C}$ . Определить  $E$ ,  $e$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

$$E = 30,0 \text{ гПа}, \quad e = 15,0 \text{ гПа} \left( e = \frac{50 \cdot 30}{100} \right), \quad d = 15,0 \text{ гПа}$$

$$(d = 30,0 - 15,0), \quad t_d = 13,0\text{ }^\circ\text{C}$$

Для определения этих величин по психрометрическим таблицам пользуются только табл. 2: в графе с соответствующей температурой и в строке с известной относительной влажностью находят значения  $t_d$ ,  $e$ ,  $d$ .

В зимнее время, в случае, если гигрометр покрывается изморозью, льдом или снегом, гигрометр снимается и вносится в теплое помещение для оттаивания и обсыхания.

В случае загрязнения волосяного датчика его надо промыть согласно специальной инструкции. Чистку волоса можно производить только летом или осенью, до определения поправки гигрометра.

**Гигрограф** (рис. 4.6) применяется для непрерывной регистрации изменений относительной влажности воздуха. Приемником влажности является пучок (35 – 50 штук) обезжиренных человеческих волос (6), закрепленный концами в двух эбонитовых втулках металлического кронштейна (7), расположенного с внешней стороны корпуса прибора. Пучок волос от механических повреждений предохраняется проволочной защитой. Передаточным механизмом изменения длины пучка волос является система рычагов с осями. Пучок волос за середину надет на крючок (9), который соединен с рычагом, укрепленным на одной оси с криволинейным рычагом (7).

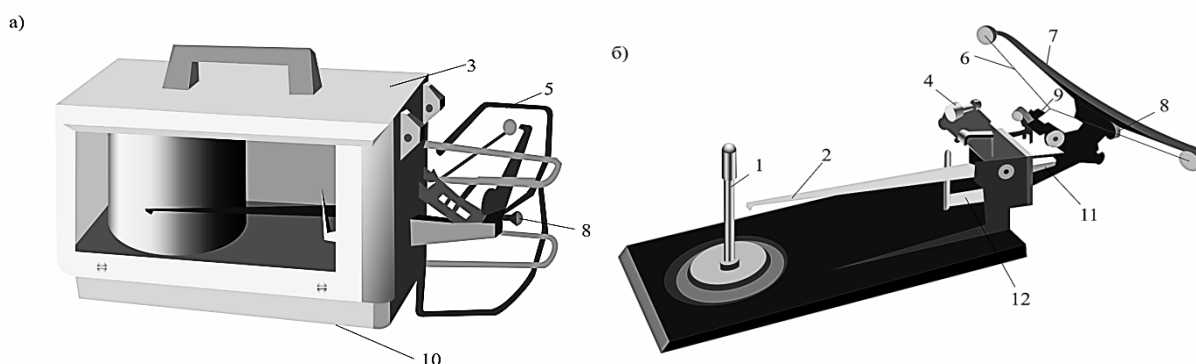


Рисунок 4.6 - Гигрограф волосной М-21А

*а — внешний вид, б — механизм гигрографа*

*1 — ось барабана, 2 — стрелка, 3 — откидная крышка, 4 — противовес, 5 — защита, 6 — пучок волос,*

*7 — кронштейн, 8 — установочный винт, 9 — крючок, 10 — основание,*

*11 — кнопка отметчика времени, 12 — отвод стрелки*

На свободном конце его имеется цилиндрический грузик (4), удерживающий пучок волос в натянутом состоянии. Благодаря криволинейным рычагам, кривизна которых специально рассчитана,

достигается равномерное перемещение пера на ленте при неодинаковом изменении длины пучка волос с изменением влажности. Кроме того, такая передача исключает обрыв пучка волос при случайном нажиме на стрелку. Запись изменений влажности воздуха осуществляется на ленте, закрепленной на барабане с часовым механизмом внутри. Барабан надевается на неподвижный стержень (1) с зубчатым колесом у основания.

В зависимости от скорости вращения барабана различают суточные и недельные гигрографы. На ленте гигрографа горизонтальные параллельные линии соответствуют относительной влажности воздуха в процентах (наименьшее деление 2%), вертикальные дуги – времени; на суточных лентах одно деление равно 15 мин, а на недельных – 2 ч.

**Установка.** Гигрограф устанавливают в одной защитной будке с термографом на верхней полке. Для подготовки его к работе (или при смене лент) стрелку от барабана отводят с помощью арретира (12), снимают барабан, закрепляют ленту, на обороте которой записывают дату и время установки, название станции, номер прибора, заводят часовой механизм, надевают барабан на неподвижный стержень и поворотом арретира подводят перо к барабану. Перо должно быть установлено поворотом барабана на время и поворотом винта (8) на влажность, вычисленную по показаниям психрометра.

Иногда на пучке волос гигрографа могут образоваться капельки воды или лед. В этих случаях следует слегка постучать по раме или занести прибор в плохо обогреваемое помещение и дать влаге постепенно обсохнуть.

Гигрограф – относительный прибор. Для введения поправки в его показания в сроки наблюдений по психрометру на ленте гигрографа делают засечки легким подъемом пера с помощью кнопки (11).

**Обработка ленты** гигрографа производится с помощью графика. Летом графики строятся ежемесячно по данным относительной влажности, измеренным по психрометру и снятым с ленты гигрографа в срочные часы: по оси абсцисс откладывают относительную влажность по гигрографу, по оси ординат – по психрометру (как для гигрометра, см. рис. 4.5). Среди

полученных точек проводят среднюю линию, пользуясь которой по графику определяют для каждого показания гигрографа соответствующее значение по психрометру и заносят в таблицу. Для обработки зимних лент графики строят по данным двух ближайших осенних месяцев.

В настоящее время наряду с волосными выпускают пленочные гигрометры и гигрографы. Устройство пленочных приборов отличается от волосных тем, что в них приемником служат животные гигроскопические пленки, натянутые на металлические кольца и соединенные с передающим механизмом. Могут быть использованы синтетические аналоги (мембраны, нити).

### **Задания**

1. Изучить устройство, установку и правила наблюдений по стационарному и аспирационному психрометрам. Провести измерение по аспирационному психрометру и вычислить все величины, характеризующие влажность воздуха, по формулам и психрометрическим таблицам.

2. Изучить устройство гигрометра. Построить график сравнения показаний гигрометра и психрометра. По показаниям гигрометра и температуре воздуха определить парциальное давление водяного пара, дефицит насыщения и точку росы (по формулам или психрометрическим таблицам).

3. Изучить устройство гигрографа, подготовить его для наблюдений и освоить обработку ленты гигрографа.

4. Начертить графики суточного и годового хода парциального давления водяного пара и относительной влажности по данным метеорологической станции.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое парциальное давление?

2. От каких факторов зависит давление насыщенного пара? Как изменяется парциальное давление водяного пара с высотой?

## 5 Измерение атмосферного давления

Атмосферное давление – это сила, действующая на единицу поверхности, т. е. атмосферное давление в каждой точке атмосферы равно массе вышележащего столба воздуха с основанием, равным единице.

Прибор для измерения давления был изобретен в 1643 г. Э.Торричелли, проводя опыты по подтверждению гипотезы Галилея о существовании давления воздуха.

Единицей давления является Паскаль (Па), равный силе в 1 Ньютон (Н), действующей на площадь в  $1 \text{ м}^2$  ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ). В метеорологии давление выражают в гектопаскалях (гПа) с точностью до 0,1 гПа.

До недавнего времени в качестве единицы давления использовали миллибар (мбар) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.). Существующие приборы для измерения давления имеют шкалы также в разных единицах. Соотношение между этими единицами следующее:  $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$ ;  $1 \text{ мм рт. ст.} = 1,33 \text{ гПа} = 1,33 \text{ мбар}$ .

Атмосферное давление является одной из важнейших метеорологических величин. Изменение его во времени в данной местности тесно связано с развитием атмосферных процессов (приближением и прохождением фронтов, циклонов, антициклонов); различия по горизонтали являются непосредственной причиной движения воздуха; закономерности изменения давления с высотой используются для решения ряда практических задач, в частности для определения превышения между двумя уровнями.

Для расчета небольших разностей высот (до 1000 м) используется барометрическая формула Бабинэ:

$$h = 16000 \cdot (1 + 0,004t_m) \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2}, \quad (5.1)$$

где  $h$  – превышение, в м;  $p_1$  и  $p_2$  – давление воздуха на нижнем и верхнем уровнях, в гПа, мбар или мм рт. ст.;  $t_m$  – средняя температура воздуха слоя между уровнями; 0,004 – коэффициент расширения газа.

Эта формула позволяет осуществлять барометрическое нивелирование и может быть использована в практике сельского хозяйства для составления топографических карт в сильно пересеченной местности, когда обычное нивелирование применить трудно.

### **5.1 Приборы для измерения атмосферного давления**

Для измерения атмосферного давления применяют ртутные и деформационные барометры разных типов, а для непрерывной регистрации давления – барографы.

В ртутных барометрах измерение давления основано на измерении высоты ртутного столба, уравнивающего атмосферное давление, а в деформационных – на зависимости упругой деформации твердых тел от оказываемого на них давления. Наиболее распространенными чувствительными элементами в этих приборах являются anerоидные мембранные коробки (барокоробки) и блоки из них (бароблоки), а также сельсины. Ртутные барометры бывают трех типов: чашечные, сифонные и сифонно-чашечные.

Барокоробка состоит из двух круглых мембран диаметром 30-80 мм. Мембраны спаяны или сварены по окружности, имеют жесткие центры с крепежными ножками. Бароблоки собираются из отдельных мембран. Чувствительность бароблока равна суммарной чувствительности его барокоробок. Сильфон состоит из тонкостенной гофрированной трубки, которая закрыта с обоих концов впаянными дисками. В центре дисков устанавливаются крепежные ножки. Так же как и в барокоробках, внутренняя часть сильфона вакуумируется.

Также для измерения давления применяют методы: основанный на использовании упругих свойств газов (газовые барометры); основанный на зависимости точки кипения жидкости от внешнего давления - термобарометры (гипсотермометры); основанный на измерении опорной



резонансной частоты колебаний датчика, которая зависит от атмосферного давления.

**Стационарный чашечный барометр** (рис. 5.1) состоит из стеклянной барометрической трубки (6) длиной около 800 мм и внутренним диаметром 7,2 мм, запаянной с верхнего конца и заполненной очищенной ртутью.

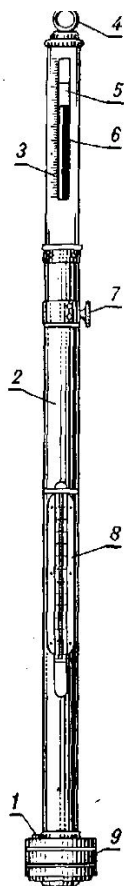


Рисунок 5.1 -  
Барометр  
чашечный

стационарный

- 1 – винт, 2 – оправа,
- 3 – шкала, 4 – кольцо,
- 5 – нониус, 6 – трубки с  
ртутью, 7 – кремальера,
- 8 – термометр, 9 – чашка

Нижний конец трубки опущен в пластмассовую чашку (9) и укреплен с помощью шайбы. Чашка (9) состоит из трех свинчивающихся частей. В средней части чашки имеется диафрагма с отверстиями. Диафрагма, занимая некоторый объем, дает возможность наливать в чашку меньше ртути, а также предохраняет ртуть от сильных колебаний и от попадания воздуха в стеклянную трубку при переноске прибора. Барометр сообщается с атмосферным воздухом через резьбовое отверстие в крышке чашки, которое для предохранения ртути от загрязнения закрывается винтом (1) с кожаной шайбой. Стеклянная трубка находится в металлической оправе (2). В нижней части ее укреплен термометр (8) для измерения температуры прибора с ценой делений  $1,0^{\circ}\text{C}$ . В верхней части оправы имеется сквозная прорезь, позволяющая видеть мениск ртутного столба в стеклянной трубке.

С левой стороны прорези нанесена шкала (3) с пределами измерений от 680 до 1070 гПа (СР-А) или от 810 до 1100 мбар (СР-Б).

Вдоль стеклянной трубки с помощью кремальеры (7) перемещается кольцо с укрепленным на нем нониусом (5), который служит для наводки на

мениск ртутного столба и для отсчета десятых долей. В верхней части оправы укреплено кольцо (4) для подвешивания барометра.

**Установка.** Барометр подвешивают за кольцо на крюк в специальном шкафу, укрепленном на капитальной стенке вдали от обогревательных систем, окон и дверей.

**Измерения.** Перед измерением открывают шкаф и включают освещение. Вначале отсчитывают показания термометра с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ , а потом, слегка постучав по защитной оправе барометра, чтобы мениск ртути в стеклянной трубке принял нормальную форму, подводят сверху нониус с помощью кремальеры до кажущегося касания его нижнего среза вершины мениска ртути (при правильной установке нониуса слева и справа должны быть видны небольшие уголки просвета) и отсчитывают показания барометра с точностью до  $0,1$  мбар ( $0,1$  гПа) (рис. 5.2 и 5.3). Целые деления отсчитывают по нижнему срезу нониуса, а десятые – по нониусу.

Деление нониуса, совпадающее с делением шкалы, показывает число десятых долей.

**Барометр-анероид БАММ-1.** Анероиды выпускаются нескольких конструкций. В настоящее время наиболее распространенным является барометр-анероид БАММ-1. Принцип действия его основан на деформации мембранных анероидных коробок под действием давления и преобразования линейных перемещений мембран посредством передаточного механизма в угловые перемещения стрелки относительно шкалы.

Чувствительный элемент анероида (рис. 5.4) состоит из трех последовательно соединенных анероидных коробок (2) (бароблока).

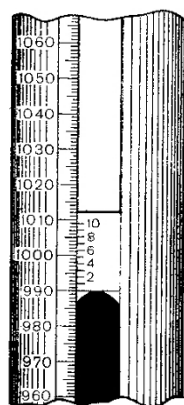


Рисунок 5.2 – Нониус стационарного чашечного барометра

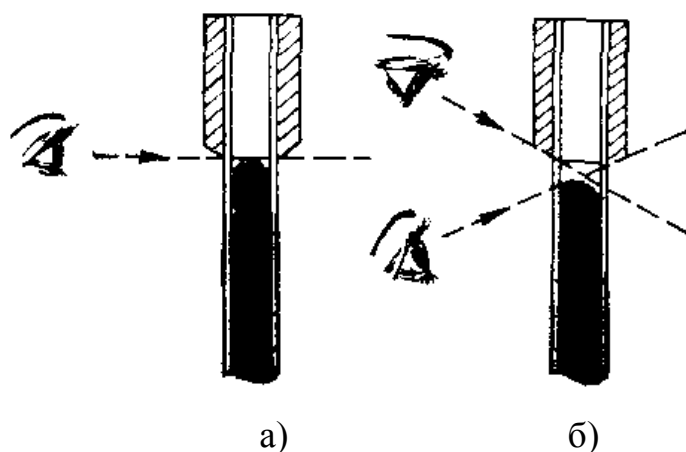


Рисунок 5.3 – Положение глаза при отсчете по барометру  
а) правильное б) неправильное

Одна из крепежных ножек его неподвижно прикреплена с помощью пластины к стойкам (16), расположенным между металлическими платами (1), а вторая шарнирно соединена с помощью жесткой тяги (3) с рычагом промежуточной оси (5). Вторым рычагом ее является движок (8), который соединен пластинчато-шарнирной цепочкой (10) с роликом (12), насаженным на общую со стрелкой (7) ось (11). Для создания постоянного натяжения цепочки на оси (11) имеется спиральная пружина (волосок) (14).

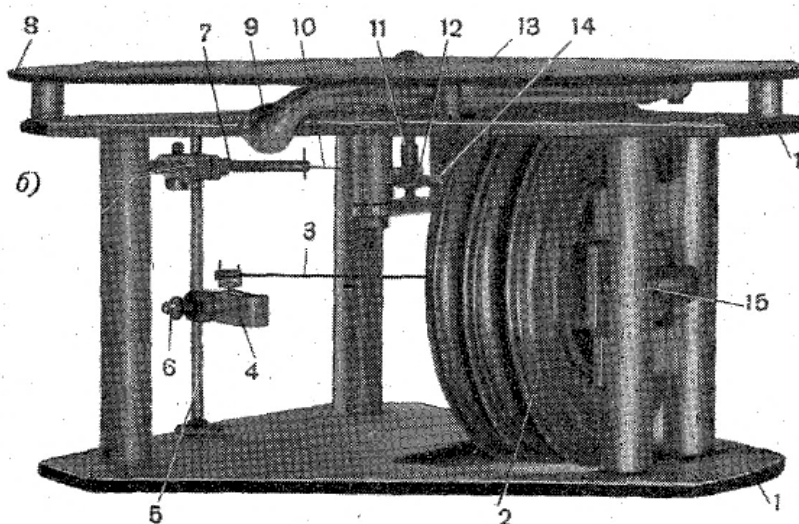


Рисунок 5.4 - Механизм барометра-анероида БАММ-1

1 – плата, 2 – anerоидные коробки, 3 – тяга, 4 – рычаг, 5, 11 – оси,  
6, 15 – регулировочный и установочный винты, 7 – стрелка, 8 – движок, 9 – термометр,  
10 – цепочка, 12 – ролик, 13 – пластина, 14 – волосок, 15 – стойки

Для отсчета давления к верхней плате с помощью втулок и винтов прикреплена пластина (13) с отверстием в центре для выхода оси (11), на конец которого насажена стрелка (7). Пластина имеет круговую шкалу с делениями в паскалях. Цена одного деления 100 Па или 1 гПа. На некоторых anerоидах шкала градуирована в миллиметрах ртутного столба с ценой деления 0,5 мм.

Для измерения температуры прибора в прорези шкальной пластины прикреплен дугообразный ртутный термометр (9). Цена деления шкалы термометра 1°C.

Регулировка чувствительности anerоида при его проверке производится винтом (6), а установка стрелки на соответствующее деление – винтом (15). После проверки прибора не рекомендуется пользоваться регулировочными винтами, так как это влечет за собой изменение поправок anerоида.

Механизм anerоида помещается в пластмассовый корпус, закрывается стеклом, которое закрепляется навинченным на корпус кольцом. В корпусе есть отверстие, через которое при проверке можно вращать с помощью отвертки винт (15). Anerоид хранится в футляре. Это предохраняет его от резких колебаний температуры.

**Установка.** Барометр-анероид устанавливают горизонтально на специальной подставке или на столе. Футляр, в котором находится anerоид, открывают только на время измерений.

**Измерения.** При измерениях вначале отсчитывают температуру по термометру при anerоиде с точностью до 0,1°C. После этого, слегка постучав по стеклу anerоида для преодоления трения в передающей части, отсчитывают положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1гПа или 0,1 мм рт. ст.

**Обработка измерений.** В показания anerоида вводят три поправки: шкаловую, температурную и добавочную.

**Шкаловая поправка** учитывает инструментальную неточность анероида, возникающую в результате технологических допусков при изготовлении прибора. В различных участках шкалы она может быть разной. В поверочном свидетельстве шкаловые поправки приводятся для всей шкалы через каждые 10 гПа или 10 мм рт. ст. Для промежуточных показаний поправку определяют путем интерполяции двух соседних поправок.

**Температурная поправка** учитывает влияние температуры. При одном и том же атмосферном давлении, но разной температуре прибора показания анероида могут быть разными, так как с изменением температуры упругость мембранных коробок не остается постоянной. Чтобы исключить влияние температуры, показания анероида приводятся к 0°C. Для этой цели определен температурный коэффициент, представляющий собой изменение показания анероида при изменении температуры на 1°C. Он указан в поверочном свидетельстве. Для получения температурной поправки его надо умножить на температуру прибора.

**Добавочная поправка** учитывает остаточную деформацию коробок. Эта поправка меняется во времени. Поэтому в поправочном свидетельстве указывают дату ее определения. Добавочную поправку рекомендуется определять не реже одного раза в 6 месяцев, а при барометрическом нивелировании – до начала и после работы. Для определения добавочной поправки необходимо провести одновременные отсчеты по стационарному чашечному барометру и анероиду (3 – 5 отсчетов). Разница между показаниями ртутного барометра с учетом всех поправок и анероида с двумя поправками (температурной и шкаловой) будет добавочной поправкой к анероиду (табл. 5.1).

Барометры-анероиды имеют широкое распространение, так как габариты их небольшие, они просты в обращении и удобны при транспортировке. Вследствие этого анероиды используются для барометрического нивелирования.

Таблица 5.1 - Форма записи для определения добавочной поправки

Дата и время наблюдений	Чашечный барометр				Анероид					
	температура	отсчет давления	поправка	исправленное значение	температура	отсчет давления	поправка		исправленное значение	добавочная поправка
							шкаловая	температурная		

**Барограф М-22А** применяется для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления. Приемная часть барографа (рис. 5.5) состоит из нескольких анероидных коробок (11), свинченных между собой (бароблок). Бароблок нижним концом укреплен на биметаллической пластинке, расположенной под платой (12), а верхним концом соединен тягой (7) с передающей частью. С повышением атмосферного давления бароблок коробок укорачивается, с понижением – удлиняется.

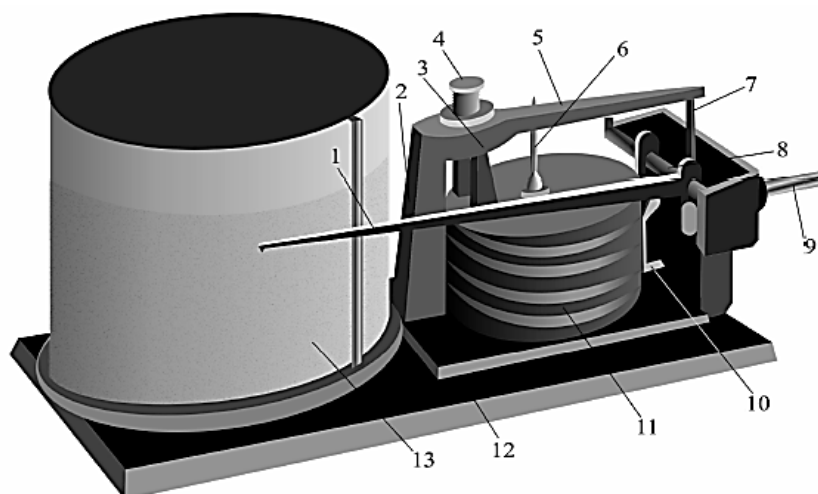


Рисунок 5.5 - Барограф М-22А

1 — стрелка пера, 2 и 3 — кронштейны, 4 — установочный винт, 5 — рычаг, 6 — упор, 7 — тяга, 8 — ось пера, 9 — кнопка отметчика времени, 10 — отвод стрелки, 11 — бароблок, 12 — плата, 13 — барабан

Передающая часть барографа представлена системой рычагов. Изменение высоты бароблока через тягу (7) воспринимает рычаг (5) с шарниром, расположенным в подвижном кронштейне (3), и передает с помощью тяги (7) на рычаг (5), расположенный на одной оси (8) со стрелкой (1), заканчивающейся пером. Положение подвижного кронштейна (2), имеющего шарнир в кронштейне (3), фиксируется сверху винтом (4), а снизу – упорной пружиной. Поворотом винта (4) можно перемещать подвижный кронштейн вокруг его шарнира и тем самым изменять положение всей рычажной системы, не деформируя бароблок. Винт (4) является регулировочным. Он служит для установки пера на соответствующее деление давления на ленте барографа.

Регистрирующей частью барографа является барабан (13) (с часовым механизмом внутри), на который надевается бумажная лента. На ленте барографа горизонтальные линии соответствуют атмосферному давлению в миллибарах (цена наименьшего деления 2 мбар), а вертикальные дуги – времени. В зависимости от скорости вращения барабана барографы бывают суточные и недельные. На суточных цена деления равна 15 мин, на недельных – 2 ч.

**Установка.** Барограф устанавливают горизонтально на специальной полке или на столе недалеко от ртутного барометра. Во избежание резких колебаний температуры он должен быть удален от отопительных приборов и защищен от воздействия солнечных лучей. Перед установкой барографа арретиром (10) отводят стрелку с пером, снимают барабан, заводят часовой механизм и на барабан накладывают бумажную ленту, на которой записывают дату и время установки. После этого барабан надевают на неподвижный стержень, укрепленный на плате, поворотом арретира перо подводят к барабану так, чтобы положение его соответствовало времени и величине атмосферного давления (по барометру) в данный момент. Во время работы прибора в сроки наблюдений на ленте нажатием на кнопку (9) делают засечки для сравнения его показаний с показаниями барометра.

## 5.2 Барометрическое нивелирование

Барометрическое нивелирование – определение превышения одного уровня на местности над другим по данным измерений давления и температуры воздуха на этих уровнях.

Для измерения давления используют aneroid, для измерения температуры воздуха – аспирационный психрометр (отсчет делают только по сухому термометру). Для большей точности делают два отсчета по приборам: сначала по одному отсчету на нижнем и верхнем уровнях, а потом по второму отсчету в той же последовательности (табл. 5.2).

Превышение определяют по барометрической формуле (5.1), подставляя средние из двух отсчетов значения давления и температуры воздуха на каждом уровне. Превышение вычисляют с точностью до 1 м<sup>2</sup>.

Таблица 5.2 - Форма записи измерений

Дата измерений	Место измерений	№ отсчета	Температура воздуха, °С	Температура anerоида, °С	Отсчет давления	Поправка	Исправленное значение	Среднее из двух отсчетов		Превышение
								температура воздуха, °С	давление воздуха, мм рт. ст. или гПа	

### Задания:

1. Изучить устройство и установку ртутного чашечного барометра и барометра-анероида, и правила измерений по ним.
2. Определить добавочную поправку к anerоиду на дату занятий.
3. Определить высоту здания при помощи anerоида.

<sup>2</sup> Пример. На нижнем уровне давления воздуха  $p_1 = 1004,6$  гПа, температура воздуха на нижнем  $t_1 = 10,5^\circ\text{C}$ , на верхнем уровне  $p_2 = 1002,6$  гПа,  $t_2 = 10,0^\circ\text{C}$ . Подставляя данные в формулу (2.1), находим превышение между двумя уровнями. Оно равно 17 м:

$$h = 16000 \cdot \left(1 + 0,004 \cdot \frac{10,5 + 10,0}{2}\right) \cdot \frac{1004,6 - 1002,6}{1004,6 + 1002,6} = 16,6 \approx 17 \text{ м}$$



4. Изучить устройство барографа и правила его установки.
5. Провести барометрическое нивелирование (определить высоту здания).

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое атмосферное давление? Для чего давление приводится к уровню моря?
2. Как и почему изменяется с высотой атмосферное давление?

## 6 Измерение скорости и направления ветра

В метеорологии ветром называется горизонтальное перемещение воздуха, а скоростью ветра - горизонтальная составляющая скорости перемещения воздуха относительно земной поверхности. Основными характеристиками ветра являются скорость и направление.

Скорость ветра измеряют числом метров, которое воздушный поток проходит в секунду (м/с). Иногда ее выражают в километрах в час (км/ч) или в условных единицах – баллах.

Направление ветра определяют той частью горизонта, откуда дует ветер, и выражают в румбах горизонта или в угловых градусах. Направление ветра в румбах горизонта определяют по 16-румбовой системе (в соответствии с рис. 6.1). Для обозначения румбов используют начальные буквы стран света. При измерении направления в градусах принимают север за 360 или 0°, восток – 90°, юг – 180°, запад – 270°.

Воздушные потоки в атмосфере турбулентные, а не ламинарные, т.е. массы воздуха перемещаются в виде вихрей разных размеров, поэтому скорость и направление ветра непрерывно изменяется. Мгновенные скорости и направления неустойчивы, постоянно колеблются около средних значений. Обычно мгновенные скорости ветра усредняются в течение 10-минутного интервала времени (иногда в течение двух минут). Мгновенные направления усредняются в течение 2 мин.

В ряде случаев оценивают порывистость ветра, т.е. изменение мгновенных значений скорости и направления ветра во времени. Порывистость оценивается качественно по степени изменчивости мгновенных значений скорости и направления. Порывистость ветра характеризуется также максимальными значениями мгновенной скорости ветра. А сама мгновенная скорость есть скорость в данный момент времени с осреднением в интервале 2-5 с вследствие инерционности измерительного прибора. Измерение скорости и направления на метеостанциях осуществляется на высоте 10-12 м от поверхности Земли.

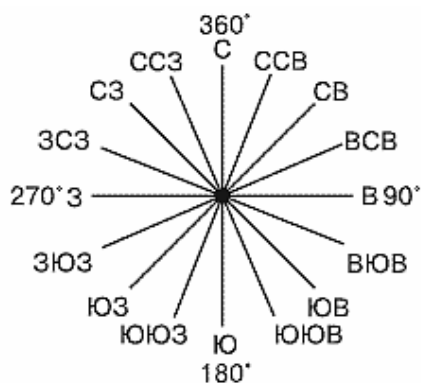


Рисунок 6.1 - Расположение румбов

- |                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| С — север,                   | Ю — юг,                   |
| ССВ — северо-северо-восток,  | ЮЮЗ — юго-юго-запад,      |
| СВ — северо-восток,          | ЮЗ — юго-запад,           |
| ВСВ — востоко-северо-восток, | ЗЮЗ — западо-юго-запад,   |
| З — запад,                   | В — восток,               |
| ЗСЗ — западо-северо-запад,   | ВЮВ — востоко-юго-восток, |
| СЗ — северо-запад,           | ЮВ — юго-восток,          |
| ССЗ — северо-северо-запад,   | ЮЮВ — юго-юго-восток.     |

Ветер является важным фактором среды. Он обуславливает перемешивание воздуха, поддерживая постоянство газового состава атмосферы, перенос водяного пара и тепла на земной поверхности, оказывает влияние на режим основных метеорологических факторов в приземном слое среди растений. Ветер способствует опылению растений и переносу семян дикорастущих деревьев, трав, является дешевым источником энергии.

От скорости ветра зависят испарение и транспирация. При сильном ветре и высокой температуре воздуха в результате высушивания почвы происходит увядание растений. Значительное усиление ветра может сопровождаться развитием пыльных бурь. Сильный ветер наносит большой вред деревьям, обламывая сучья, ветви, и посевам, вызывая полегание хлебов, и т. д.

Скорость и направление ветра необходимо учитывать при проведении

подкормки посевов удобрениями и при опылении садов ядохимикатами с самолетов и вертолетов, при орошении дождеванием и пр. Направление господствующих ветров важно знать при закладке лесных полос и посевах кулис, при осуществлении мероприятий по снегозадержанию и борьбе с ветровой эрозией, при выборе места для строительства ферм и жилых зданий.

### **6.1 Приборы для измерения скорости и направления ветра**

Приборы для измерения скорости ветра называются анемометрами, для измерения скорости и направления ветра – анеморумбометрами, а некоторые из них – ветромерами. Первичными приемниками направления ветра являются флюгарки, колесо Салейрона, ветровой конус.

Флюгарка представляет собой жесткую, асимметричную, относительно вертикальной оси, систему из пластин и противовеса. Это система свободно вращается вокруг вертикальной оси. Под давлением ветрового потока флюгарка устанавливается в плоскости ветра противовесом навстречу ветру, т.е. указывает направление, откуда дует ветер. Большинство флюгарок состоит из двух пластин, расположенных под углом друг к другу.

Для измерения скорости ветра в качестве первичных преобразователей используются: чашечные вертушки, воздушные винты и свободно подвешенные около горизонтальной оси пластины. Так же могут быть использованы трубки Прандтля (измеряя избыточное давление в трубке, определяют скорость ветра), термодатчик (различные тела, температура которых отличается от температуры окружающего воздуха; по количеству тепла, теряемому телом, и определяется скорость ветра; это могут быть термопары, термосопротивления), приемник акустического излучения в акустических анемометрах.

Для измерения скорости и направления ветра наибольшее распространение имеют флюгер, анеморумбометры и анемометры.

**Флюгер стационарный** (рис. 6.2). Приемником направления ветра служит двухлопастная флюгарка (1) с противовесом. Она укреплена на трубке (7), которая надевается на заостренный конец неподвижной оси (10) и свободно вращается вокруг нее. Для определения направления ветра на неподвижной оси расположена муфта (9) с восемью штифтами, указывающими направление стран света.

Приемник скорости ветра смонтирован над флюгаркой. Им служит прямоугольная металлическая доска (пластина) (6), свободно качающаяся около горизонтальной оси (3), закрепленной в упорах рамки (2) перпендикулярно флюгарке. При отсутствие ветра под действием силы тяжести пластина занимает вертикальное положение, при ветре отклоняется от вертикали на угол  $\alpha$ , пропорциональный скорости ветра. Рамка имеет дугу (5) с восемью штифтами, по которым отсчитывают положение доски, отклоняющейся под действием ветра, и противовес (4) для уравнивания дуги. Штифты нумеруются от 0 до 7.

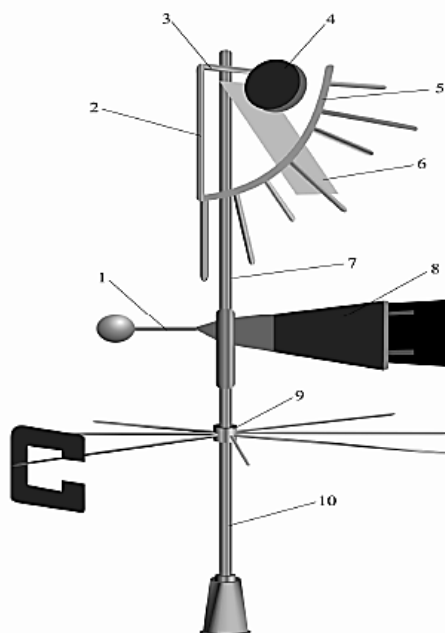


Рисунок 6.2 - Флюгер стационарный

1 – флюгарка, 2 – рамка, 3 – горизонтальная ось, 4 – противовес, 5 – дуга со штифтами,  
6 – металлическая доска, 7 – трубка, 8 – лопасти, 9 – муфта, 10 – неподвижная ось

Для удобства отсчета четные штифты (0, 2, 4, 6) длиннее нечетных (1, 3, 5, 7). Каждому штифту соответствует определенная скорость ветра.

Для выражения скорости ветра в м/с пользуются градуировочной таблицей (табл. 6.1).

Таблица 6.1 - Градуировочная таблица флюгеров с легкой и тяжелой доской

Положение доски	Скорость ветра, м/с		Положение доски	Скорость ветра, м/с	
	легкая доска	тяжелая доска		легкая доска	тяжелая доска
Штифт 0	0	0	Штифт 4	8	16
Между штифтами 0 и 1	1	2	Между штифтами 4 и 5	9	18
Штифт 1	2	4	Штифт 5	10	20
Между штифтами 1 и 2	3	6	Между штифтами 5 и 6	12	24
Штифт 2	4	8	Штифт 6	14	28
Между штифтами 2 и 3	5	10	Между штифтами 6 и 7	17	34
Штифт 3	6	12	Штифт 7	20	40
Между штифтами 3 и 4	7	14	Выше штифта 7	>20	>40

**Измерения.** При определении направления ветра наблюдатель стоит под указателем направления ветра, следит за положением противовеса флюгарки относительно указательных штифтов и отмечает среднее положение противовеса за 2 мин.

Для измерения скорости ветра необходимо несколько отойти от мачты флюгера и стать так, чтобы доска и дуга со штифтами были хорошо видны. Скорость ветра непрерывно изменяется. Поэтому отмечают номер штифта, соответствующего среднему положению доски в течение 2 мин. После этого скорость ветра по номеру штифта переводят в м/с (в соответствии с таблицей 6.1). Например, во время измерений доска (легкая) находилась около

третьего штифта, значит скорость ветра была 6 м/с.

Измерения по флюгеру позволяют определить характер ветра (ровный, порывистый, меняющий свое направление) и максимальную скорость. При скоростях ветра больше 20 м/с измерения производят по флюгеру с тяжелой доской.

При этом записывают среднее и верхнее положение доски, куда она доходила в течение 2 мин.

**Анеморумбометр М-63М-1** – дистанционный прибор (рис. 6.3). Он предназначен для измерения средней, мгновенной, максимальной скорости и осредненного направления ветра.

Анеморумбометр состоит из датчика, измерительного пульта, блока питания и соединительного кабеля. Принцип действия его основан на зависимости частоты следования импульсов на выходе датчика скорости ветра и фазового сдвига между двумя сериями импульсов, вырабатываемых датчиком направления ветра.

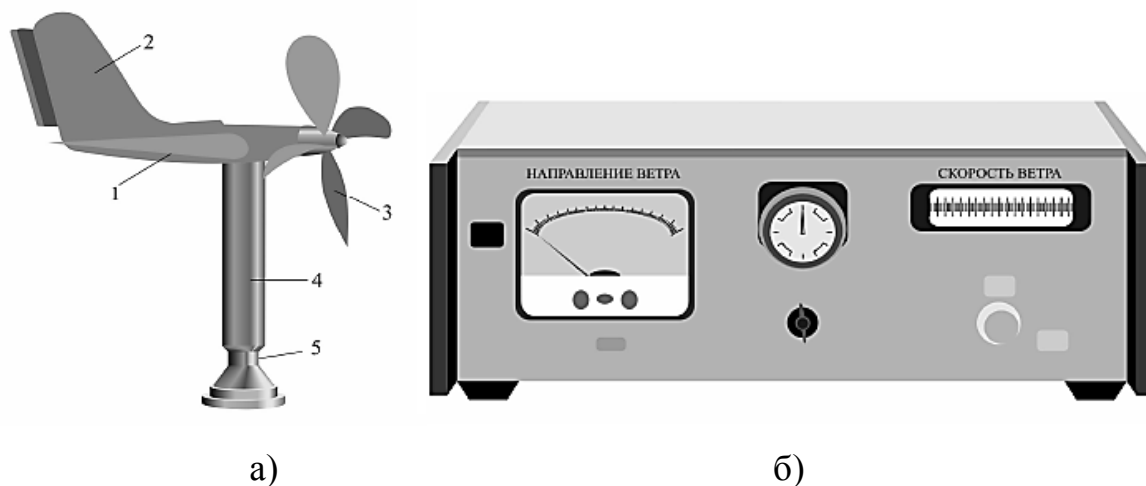


Рисунок 6.3 - Анеморумбометр М-63М-1

*а — датчик скорости и направления ветра, б — измерительный пульт;  
1 — горизонтальный корпус, 2 — флюгарка (хвостовое оперение), 3 — воздушный винт, 4 — наружная труба, 5 — вертикальная стойка*

Датчиком направления ветра является флюгарка, имеющая вид объемного обтекаемого корпуса (1) с вертикально расположенными лопастями (2) и цилиндром (4); датчиком скорости ветра служит четырехлопастной воздушный винт (3), установленный на горизонтальной оси в передней части флюгарки. Флюгарка вместе с цилиндром свободно поворачивается вокруг стойки (5), неподвижно укрепленной на мачте. На стойке находится ориентир для установки датчика относительно стран света и штепсельный разъем для подключения соединительного кабеля.

Измерительный пульт смонтирован в прямоугольном корпусе, на лицевой панели которого расположены указатели характеристик ветра, ручки и кнопки управления. Отсчет максимальной и мгновенной скорости ветра производят по шкале с двумя пределами измерений. Пределы измерений по верхней шкале от 0 до 60 м/с с ценой деления 2 м/с, по нижней шкале – от 0 до 30 м/с с ценой деления 1 м/с. Переключение на нижнюю шкалу осуществляется кнопкой переключения. Указатель средней скорости имеет цену деления большой шкалы 0,1 м/с и малой шкалы 10 м/с. Включение установки для отсчета осредненной скорости ветра за 10-минутный интервал производится поворотом ручки.

Направление ветра определяется по шкале, состоящей из двух частей. Пользуются ими в зависимости от цвета индикаторов. По верхней шкале отсчитывают при красном цвете индикатора (пределы измерений 0 – 360°), по нижней - при зеленом цвете индикатора (пределы измерений 180 - 360 - 180°). Цена деления каждой шкалы 5°. Включение канала направления ветра производится нажатием кнопки.

Штепсельные разъемы для подключения кабелей датчика и блока питания находятся на задней стенке пульта. Блок питания содержит аккумуляторную батарею и выпрямитель, обеспечивающий работу прибора от сети переменного тока.

**Установка.** Датчик анеморумбометра устанавливают на металлической мачте на открытой площадке или крыше здания, а



измерительный пульт и блок питания – в служебном помещении на столе или специальной подставке на расстоянии не более 2 м друг от друга. Датчик и измерительный пульт соединены между собой 7-жильным кабелем длиной 150 м, а измерительный пульт и блок питания – кабелем длиной 2 м.

**Измерения.** Нажатием кнопки включают узел измерения скорости ветра. Для определения средней скорости за 10-минутный интервал поворачивают до упора ручку и производят сброс показаний указателя средней скорости с помощью кнопки. После автоматического отключения механизма отсчитывают значения средней скорости ветра, по нижнему указателю шкалы (черная стрелка) – мгновенную скорость, а по верхнему указателю (красная стрелка) – максимальную скорость. Отсчеты скорости ветра снимают с точностью до 1 м/с. После этого поворотом ручки производят сброс максимальной скорости до совпадения показаний стрелок максимальной и мгновенной скоростей.

Для определения направления ветра за 2 – 3 мин до измерений нажатием кнопки включают шкалу, следят за положением стрелки в течение 2 мин и производят отсчет по нижней или верхней шкале в зависимости от цвета индикатора с точностью до 5°.

**Анемометр ручной чашечный МС-13** (рис. 6.4) служит для измерения средней скорости ветра за небольшие промежутки времени (обычно 10 мин) в пределах от 1 до 20 м/с. Его широко применяют при агрометеорологических наблюдениях для измерения скорости ветра на полях с различными культурами, в лесополосах и др.

Чувствительным элементом анемометра является чашечная вертушка (1) с четырьмя полушариями, обращенными выпуклостями в одну сторону. Вертушка насажена на ось (3). В нижней части ось имеет червячную (винтовую) нарезку (5), соприкасающуюся с зубчатым колесом, которое передает вращение вертушки счетному механизму.

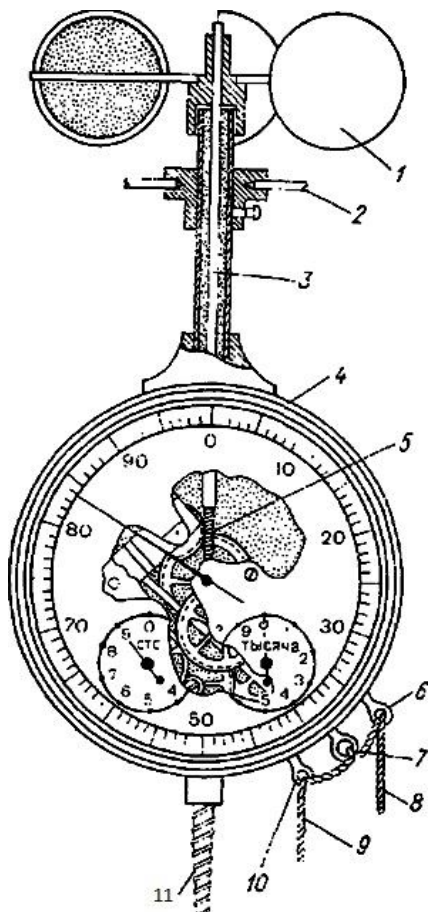


Рисунок 6.4 - Анемометр  
ручной чашечный МС-13

1 – вертушка, 2 – защитная дужка,  
3 – ось, 4 – корпус, 5 – червяк,  
6, 10 – ушки, 7 – кольцо арретира,  
8, 9 – шнуры, 11 – винт

Счетный механизм помещен в корпусе (4) и представляет собой систему зубчатых колес, связанных с тремя стрелками, которые при вращении вертушки перемещаются по трем шкалам.

Центральная шкала имеет 100 делений. По этой шкале отсчитывают десятки и единицы оборотов. Малые шкалы имеют по 10 делений и служат для отсчета сотен и тысяч оборотов. При полном обороте стрелки по большой шкале стрелка на шкале «сотни» поворачивается на одно деление и т. д.

Счетный механизм включается и выключается арретиром, выступающий конец которого расположен сбоку корпуса и имеет вид подвижного кольца (7).

Движением арретира вверх (против часовой стрелки) счетчик анемометра включают, а движением вниз (по часовой стрелке) – выключают.

В корпусе прибора по обе стороны арретира ввинчены два ушка (6) и (10), через которые протягиваются концы шнура (8), (9), прикрепленного к кольцу (7) для включения и выключения прибора, когда его нельзя достать рукой.

От механических повреждений вертушка защищена металлическими дужками (2) (на рисунке показано место крепления их). В нижней части корпуса имеется винт (11) для установки анемометра на столбе.

**Установка.** Ручной анемометр устанавливают на столбе нужной высоты, ввинчивая винт (11) в верхушку столба, или держат на вытянутой руке плоской поверхностью корпуса параллельно направлению ветра, шкальной стороной к наблюдателю.

**Измерения.** Перед измерением при выключенном счетчике записывают начальные показания, т. е. положение всех трех стрелок (тысячи, сотни, десятки, единицы), устанавливают анемометр на заданной высоте и через 20 – 30 с, когда скорость вращения вертушки установится, счетчик анемометра включают. Через определенное время (на практике чаще всего через 10 мин после включения) счетчик выключают и записывают новые показания прибора (тысячи, сотни, десятки, единицы) и время работы прибора в секундах. Секундомер включают и выключают одновременно с арретиром анемометра.

По разности показаний счетчика, деленной на время работы прибора, определяют среднее число делений счетчика в 1 с (табл. 6.2). Для выражения средней скорости ветра в м/с пользуются поверочным свидетельством данного прибора, в котором имеется градуировочный график или таблица.

Таблица 6.2 - Форма записи измерений

Место измерений	Время	Отсчеты		Разность отсчетов	Время работы прибора, с	Число оборотов в 1с	Скорость, м/с
		начальный	конечный				

Между наблюдениями анемометр хранится в футляре с выключенным механизмом.

Для измерения мгновенной скорости ветра может быть использован анемометр ручной индукционный АРИ-49 (интервал осреднения 3-5 с), который имеет шкалу, градуированную в м/с. Пределы измерения от 2 до 30 м/с. Действие прибора основано на измерении угловой скорости вращения трехчашечной вертушки с помощью магнитоиндукционного тахометра.

## 6.2 Повторяемость направлений ветра и штилей

Для характеристики ветрового режима местности могут быть необходимы сведения о преимущественном направлении ветра. Для этого вычисляют повторяемость по каждому румбу, выражая ее или числом случаев, соответствующих данному румбу, или в процентах от общего числа случаев всех направлений. Например, в таблице 6.3 приводится повторяемость различных направлений ветра в процентах по многолетним данным для января и июля.

Таблица 6.3 - Повторяемость направлений ветра (%) и среднее число штилей

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Число
Январь	3	7	35	11	6	10	20	8	7
Июль	9	8	13	5	6	10	33	16	9

Для наглядного представления о распределении различных направлений ветра за соответствующий период времени (месяц, сезон, год) используют графическое изображение, получившее название розы ветров (рис. 6.5).

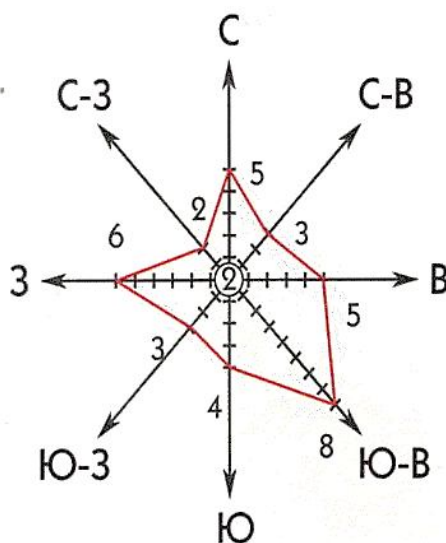


Рисунок 6.5 – Пример построения розы ветров

Для построения розы ветров из одной точки по направлению основных восьми румбов откладывают отрезки, соответствующие повторяемости направления ветра (%) данного румба в выбранном масштабе. Полученные точки на румбах соединяют прямыми линиями (в соответствии с рисунком 6.5). В центре розы ветров показывают число штилей. Анализируя розу ветров, можно сделать вывод, что в данном случае промышленные предприятия и фермы лучше располагать с южной или северо-восточной стороны от населенных пунктов, лесные полосы – в направлении с севера на юг и т. д.

### **Задания:**

1. Изучить устройство и установку стационарного флюгера, анеморумбометра М-63-1, ручного анемометра со счетным механизмом и правила измерений по ним.
2. Измерить скорость ветра ручным анемометром на защищенном и открытом участках.
3. Построить розы ветров по данным метеорологической станции и сделать их анализ.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое ветер?
2. Как определяются скорость и направление ветра?
3. Что называется порывистостью ветра? От каких факторов она зависит?

## 7 Измерение атмосферных осадков и высоты снежного покрова

Атмосферные осадки – это вода в жидком и твердом виде, выпадающая на поверхность земли и наземные предметы из облаков (дождь, снег, град, крупа, морось и др.). Осадки имеют важное значение для формирования погоды и климата и являются естественной причиной увлажнения территории. Жидкие осадки - дождь, роса, твердые - снег, град, снежная крупа, гололед, иней.

Осадки, выпадающие на земную поверхность, измеряются толщиной слоя воды в миллиметрах, который образовался бы на горизонтальной поверхности от выпавших осадков при отсутствии инфильтрации в землю, стекания и испарения этих осадков. Количество осадков определяют для конкретных промежутков времени (мм в минуту, мм в час, мм в месяц, мм в год) с точностью до 0,1 мм.

### 7.1 Приборы для измерения осадков

Измерение количества осадков производится осадкомерами и дождемерами, регистрация изменений их количества во времени и интенсивность – плувиографом.

**Осадкомер Третьякова** является основным прибором для измерения количества жидких и твердых осадков. В комплект осадкомера входят два цилиндрических ведра (осадкомерные сосуды), крышка к ведру, планочная защита, таган для установки ведра и измерительный стакан.

Ведро (3) осадкомера (рис. 7.1) имеет высоту 40 см и площадь приемной поверхности  $200 \text{ см}^2$ . Внутри ведра впаяна диафрагма (2) в виде усеченного конуса, отверстие которой для уменьшения испарения осадков из ведра в летнее время закрывается воронкой (1).

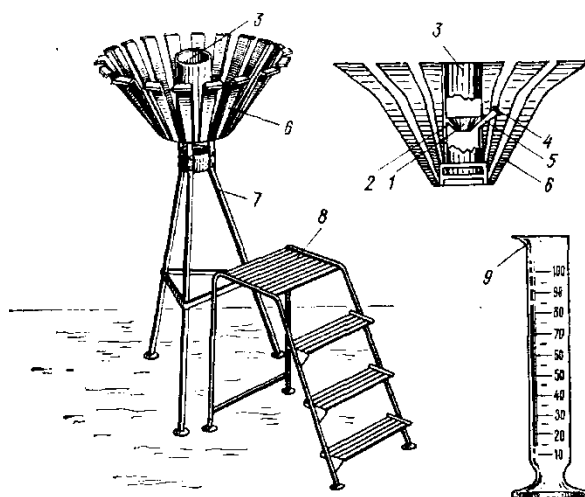


Рисунок 7.1 - Осадкомер Третьякова

1 – воронка, 2 – диафрагма, 3 – ведро, 4 – колпачок, 5 – носик, 6 – планочная защита,  
7 – подставка, 8 – лесенка, 9 – измерительный стакан

С внешней стороны ведра для слива собранных осадков в измерительный стакан припаян носик (5) с колпачком (4). Ведро осадкомера устанавливают в таган, который закреплен неподвижно на металлической подставке (7).

Для уменьшения влияния ветра на количество осадков, попавших в ведро, применяется ветровая защита (6), состоящая из 16 трапециевидных планок. Верхние концы планок отогнуты во внешнюю сторону и находятся на одной высоте с верхним краем ведра. Крепятся они за ушки на металлическом кольце, которое с помощью четырех кронштейнов соединено с таганом. Планки расположены на равном расстоянии друг от друга и соединены между собой внизу и вверху цепочками.

Измерение количества осадков производится измерительным стаканом (9), который представляет собой мензурку с делениями (100 делений). Одно деление стакана по объему равно  $2 \text{ см}^3$ . При площади приемной поверхности

$$200 \text{ см}^2 \text{ это соответствует } 0,1 \text{ мм осадков } \left( \frac{2 \text{ см}^3}{200 \text{ см}^2} \cdot 10 = 0,1 \text{ мм} \right).$$

**Установка.** Место установки осадкомера должно быть удалено от окружающих предметов на расстояние не менее их трехкратной высоты. Таган укрепляют на металлической подставке так, чтобы верхний край установленного в нем ведра находился на высоте 2 м от поверхности земли. При высоте снежного покрова более 60 см осадкомер устанавливают на запасной столб, который на 1 метр выше основного. Рядом с подставкой осадкомера находится лесенка (8).

**Измерения.** Во время измерений производят смену ведер (4 раза в сутки). Пустое ведро, закрытое крышкой, выносят из помещения и заменяют им ведро, стоящее на тагане осадкомера. Снимают с него крышку, закрывают снятое ведро и переносят в помещение, где измеряют количество осадков. Содержащиеся в ведре осадки переливают через носик в измерительный стакан, установленный на горизонтальной поверхности, и отсчитывают по положению уровня воды число делений стакана. Измерение количества твердых осадков производят после того, как они полностью растают, при этом ведро должно быть закрыто крышкой. Если осадков окажется более 100 делений стакана, то измеряют их в несколько приемов, записывая число делений каждого измерения и общую сумму (табл. 7.1). Количество выпавших осадков в миллиметрах соответствует числу делений стакана, уменьшенного в 10 раз.

К результатам измерений вводят поправку на смачивание ведра. Для жидких осадков, количество которых меньше 0,5 деления стакана, поправка составляет +0,1 мм, а для осадков 0,5 деления стакана и больше поправка равна +0,2 мм.

Таблица 7.1 - Форма записи измерений

Время выпадения осадков, ч мин		Число делений измерительного стакана	Поправка	Количество осадков		Интенсивность осадков, мм/мин
начало	конец			мм	м <sup>3</sup> /га	



По данным продолжительности выпадения осадков определяют интенсивность их за этот период (мм/мин).

**Дождемер напочвенный** применяют для измерения количества жидких осадков, которые наблюдаются на уровне почвы. Считается, что ветровая защита полностью не предотвращает образование завихрений у приемного отверстия осадкомера, т.е. не исключает погрешность. Их полностью исключает напочвенный осадкомер, который устанавливается в углублении в земле, его приемное отверстие находится на уровне земли, где скорость ветра  $v \approx 0$ . В приемное отверстие попадает практически столько же осадков, сколько на любую другую ближайшую горизонтальную поверхность.

Используют дождемер преимущественно в комплекте с испарителями.

Дождемер состоит из ведра (2) и гнезда (3) (рис. 7.2).

Дождемерное ведро отличается от ведра осадкомера большей площадью поверхности ( $500 \text{ см}^2$ ) и наличием сплошной конусообразной диафрагмы (4) с отверстием у вершины для стока воды в нижнюю часть ведра.

Гнездо изготавливается из листовой стали и имеет форму цилиндра высотой 28 см и диаметром 35 см. В дне гнезда имеются отверстия для стока воды, попавшей в него, и три пружинящие опоры (5) для установки ведра.

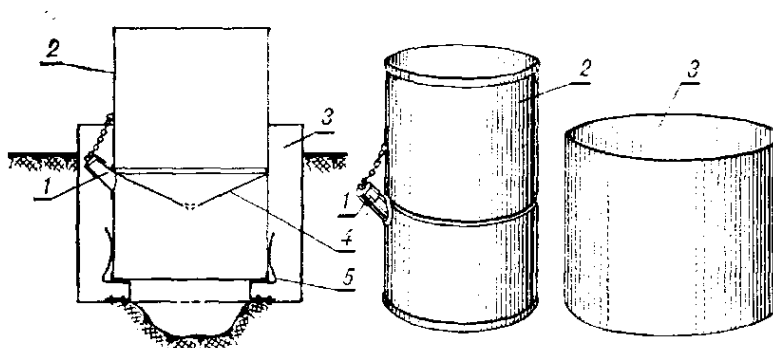


Рисунок 7.2 - Почвенный дождемер ГР-28

1 – носик, 2 – ведро, 3 – гнездо, 4 – диафрагма, 5 – опоры

**Установка.** Почвенный дождемер устанавливают в теплое время года на открытой площадке в специально подготовленное углубление в почве. Гнездо помещают так, чтобы верхний край выступал над почвой на 5 см, стенки соприкасались с почвой, а под дном его должно быть небольшое углубление диаметром 10 – 15 см для стока воды из гнезда. После этого на опоры (5) в гнезде ставят горизонтально дождемерное ведро.

**Измерения** по дождемеру производят так же, как по осадкомеру. Через носик (1) воду переливают в измерительный стакан и по уровню воды в нем отсчитывают число делений. Стакан имеет 100 делений. Одно деление равно  $5 \text{ см}^3$  воды и соответствует 0,1 мм осадков ( $\frac{5 \text{ см}^3}{500 \text{ см}^2} \cdot 10$ ). Аналогично к данным измерений вводится поправка на смачивание ведра.

**Осадкомер суммарный М-70** применяется в труднодоступных местах для определения количества осадков. Позволяет измерять сумму выпавших осадков в любое время года за срок до 12 месяцев.

Осадкомер состоит из а) приемного цилиндра, б) пластиночной ветровой защиты, в) резервуара, т.е. водосборного сосуда, г) основания-подставки.

Водосборный сосуд имеет разборную конусообразную форму, что уменьшает вероятность разрыва при замерзании жидких осадков. Для предотвращения жидких осадков от испарения в осадкомер наливают некоторое количество минерального масла, которое растекаясь по поверхности воды создает предохранительную пленку.

Стойка - подставка (основание) состоит из металлических стоек, осадкомер на подставке устанавливается так, чтобы его приемная поверхность была на высоте 2 м от поверхности почвы. Площадь приемной поверхности  $500 \text{ см}^2$ .

В установленные для измерений сроки производится измерение осадков с помощью измерительного стакана. Если в осадкомере имеются

твердые осадки, то водосборный сосуд подогревают до полного таяния, затем сливают воду в измерительный стакан.

Максимальное измеряемое количество осадков 1500 мм. Погрешность измерения 0,1 мм.

**Плювиограф П-2** (рис. 7.3) служит для непрерывной регистрации количества и интенсивности жидких осадков.

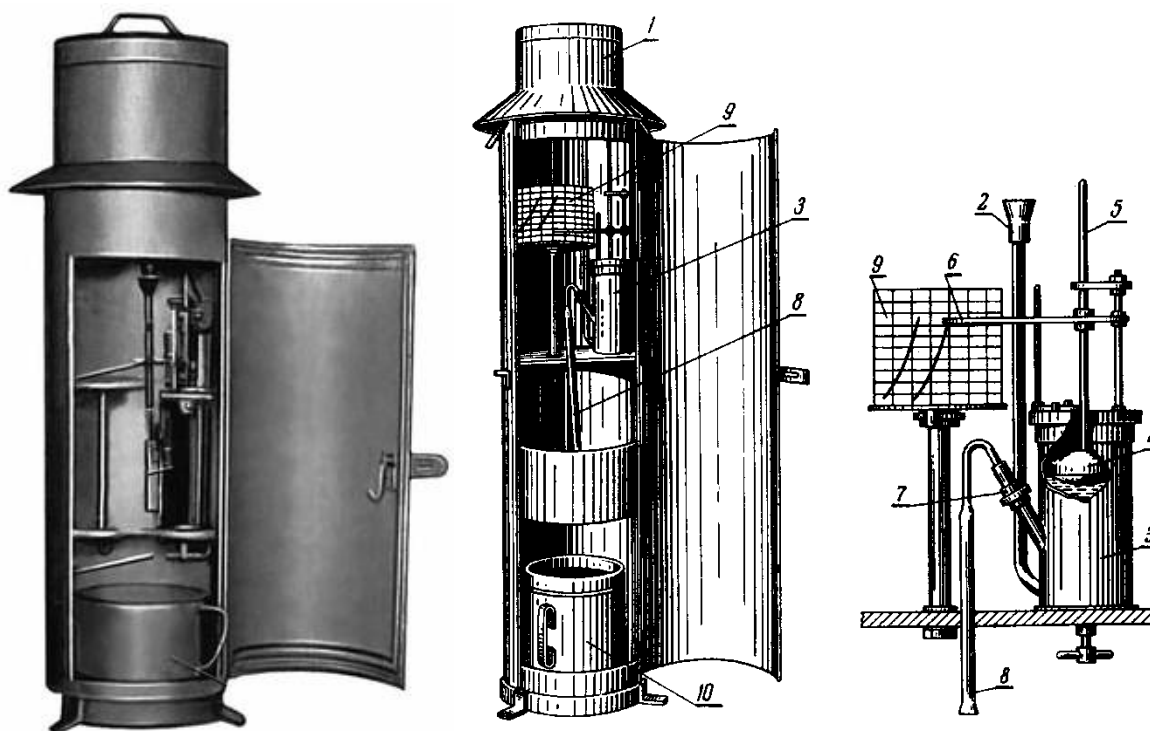


Рисунок 7.3 - Плювиограф П-2

*1 – приемный сосуд, 2 – трубка, 3 – поплавковая камера, 4 – поплавок, 5 – стержень,  
6 – стрелка, 7 – механизм принудительного слива, 8 – сифон, 9 – барабан,  
10 – водосборный сосуд*

Плювиограф состоит из цилиндрического сосуда (1) с приемной площадью 500 см<sup>2</sup>. В нижней части сосуд переходит в конус, заканчивающийся сливной трубкой, которая вставляется в воронку трубки (2), идущей от поплавковой камеры (3). Осадки через приемное ведро поступают в поплавковую камеру, внутри которой находится полый металлический поплавок (4) со стержнем (5) и стрелкой (6),

заканчивающейся пером. Рядом с поплавковой камерой укреплен барабан (9) с часовым механизмом. На барабан надевается бумажная лента. Горизонтальные линии на ней соответствуют количеству осадков, а вертикальные – времени. Одно горизонтальное деление равно 0,1 мм осадков, а одно вертикальное – 10 мин. В нижней части корпуса прибора помещается контрольный сосуд (10), в который сливаются осадки из поплавковой камеры.

При выпадении осадков вода из приемного сосуда (1) переливается в поплавковую камеру (3). При этом поплавок, находящийся в камере, поднимается и перо чертит на ленте кривую линию, причем, чем интенсивнее осадки, тем круче подъем кривой. Как только осадки заполнят поплавковую камеру (10 мм), начинает действовать сифон (8) и вода из камеры автоматически выливается в контрольный сосуд (10). При этом перо вычерчивает на ленте вертикальную прямую линию от верха до нулевого деления ленты. Если осадки продолжают выпадать, поплавковая камера снова наполняется водой и перо поднимается вверх. Если осадки прекращаются, перо чертит на ленте горизонтальную линию.

В холодное время при отрицательных температурах плювиограф не используют, так как вода в сосуде может замерзнуть и повредить прибор.

Прибор устанавливают горизонтально на открытой площадке на специальном столбе так, чтобы его верхняя часть была на высоте 2 м от поверхности почвы. Плювиограф укрепляется проволочными растяжками.

Обработка ленты плювиографа (плювиограммы) заключается в следующем. По записи на ленте отмечают время начала и конца дождя, записывают количество осадков, выпавших за каждый час, вычисляют общую сумму осадков за 24 ч и определяют интенсивность дождя в 1 мин. Интенсивность дождя рассчитывают по 10-минутным интервалам.

**Установка.** Прибор устанавливают горизонтально на открытой площадке на специальном столбе, укрепленном для надежности

проволочными оттяжками. Верхний край плювиографа должен быть на высоте 2 м от поверхности почвы.

Ленты плювиографа меняют ежедневно, если был дождь (хотя и слабый). При смене лент заводят часовой механизм. В сухую погоду одну ленту используют пять-шесть дней.

В холодное время плювиограф разбирают. Для этого вынимают барабан с часовым механизмом, сифонную трубку, поплавковую камеру и контрольный сосуд. Насухо все протирают и хранят в помещении. Водосборный приемник закрывают крышкой.

**Обработка ленты плювиографа.** Данные о количестве и интенсивности осадков получают после обработки ленты.

Обработку производят для каждого дождя. По записи на ленте отмечают время начала и конца дождя, записывают количество осадков, выпавших за каждый час, вычисляют общую сумму осадков за 24 ч и интенсивность дождя в 1 мин.

В труднодоступных местах используют суммарные осадкомеры, а также автоматические радиометрические установки.

## **7.2 Измерение гололеда**

Осаждения гололеда, изморози, мокрого снега в сочетании с ветровым давлением способно обрывать линии и ломать опоры электропередач, деревья т.д. На метеорологических станциях проводится количественная оценка этих отложений. наблюдения состоят из измерения массы и размеров отложений, оценки их характера и структуры.

В северной части площадки устанавливается гололедный станок, который представляет собой три столба с четырьмя проводами, натянутыми на эти столбы, длиной 104 см и диаметром 5 мм на высоте 225 см над поверхностью земли. Нижние два провода отделяются от скоб для взвешивания и заменяются при производстве наблюдений запасными.

Столбы ориентируются по прямоугольному треугольнику с севера на юг и с запада на восток. Во время образования отложений наблюдения проводятся не реже, чем через 2 часа.

Количество отложений определяется по массе на участке длиной 25 см одного из нижних проводов, на котором отложение оказалось наибольшим. Толщина отложения измеряется по двум сечениям: наибольшему и в перпендикулярном направлении. Наблюдения проводят в основные сроки.

После прекращения нарастания отложения по верхнему проводу с большим отложением измеряется масса отложения (количество отложения). Для этой цели на верхний провод надевают специальную ванну, закрывают ее вместе с проводом и переносят в помещение. Вместо снятого провода устанавливают запасной.

Массу отложения на участке провода 25 см, оказавшегося в ванне, определяют после его таяния косвенно, с помощью измерительного стакана, в кубических сантиметрах (объем численно равен массе отложения в граммах). Полученную массу умножают на 4, вычисляя тем самым массу отложения, приходящуюся на 1 м провода.

### **7.3 Наблюдения за снежным покровом**

Наблюдения за снежным покровом состоят из определения степени покрытия снегом территории и характера залегания снежного покрова, измерения его высоты и плотности, запаса воды в снеге, а также определения наличия и толщины ледяной корки и состояния почвы под снегом. Измерение высоты снежного покрова производится снегомерными рейками, а плотности – снегомером.

Снежный покров залегает неравномерно по территории, поэтому высоту его измеряют в нескольких местах. Для этого применяют постоянные и переносные (маршрутные) снегомерные рейки.

**Постоянная снегомерная рейка М-103** (рис. 7.4) представляет собой деревянный брус длиной около 2 м и шириной не менее 5 см со шкалой в сантиметрах (цена деления 1 см).

**Установка.** Постоянные снегомерные рейки устанавливают осенью до начала снегопадов. В месте установки забивают в землю деревянный заостренный брусок длиной 40 – 60 см с запиленной ступенькой и к этому бруску привинчивают снегомерную рейку так, чтобы нулевое деление рейки находилось на уровне почвы. Обычно устанавливают три постоянные снегомерные рейки, располагая их по треугольнику. Расстояние между ними должно быть около 10 м.

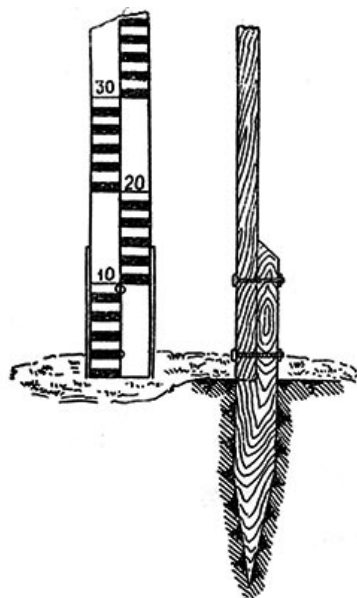


Рисунок 7.4 - Постоянная снегомерная рейка М-103

**Измерение** высоты снежного покрова по постоянным рейкам делают с одного и того же места на расстоянии 5 – 6 шагов от рейки, не нарушая снежного покрова около рейки. Так как непосредственно около рейки под действием ветра может произойти выдувание снега, то при отсчетах необходимо наклоняться возможно ближе к поверхности снежного покрова. Отсчет производят с точностью до 1 см.



Рисунок 7.5 - Переносная снегомерная рейка М-104

**Переносная снегомерная рейка М-104** (рис. 7.5) применяется при маршрутных измерениях высоты снежного покрова и представляет собой деревянный брусочек длиной 180 см, шириной 4 см и толщиной 2 см, изготовленный из сухого, пропитанного маслом дерева. Нижний конец рейки заострен и обит жостью. На одной стороне рейки нанесены деления в сантиметрах (цена деления 1 см). Начало деления шкалы совпадает с нижним обрезом наконечника.

При измерении высоты снежного покрова рейку погружают вертикально в снег заостренным концом так, чтобы он достиг поверхности почвы. После этого отсчитывают по шкале высоту с точностью до 1 см.

Плотность снега измеряют походным весовым снегомером. Походный **весовой снегомер ВС-4** (рис. 7.6) состоит из снегозаборника весов и лопатки.

Снегозаборник (9) представляет собой металлический цилиндр, высота которого 60 см, площадь поперечного сечения  $50 \text{ см}^2$ . На одном конце его находится кольцо, заканчивающееся пилообразной режущей кромкой (7), а другой конец может закрываться крышкой (10).



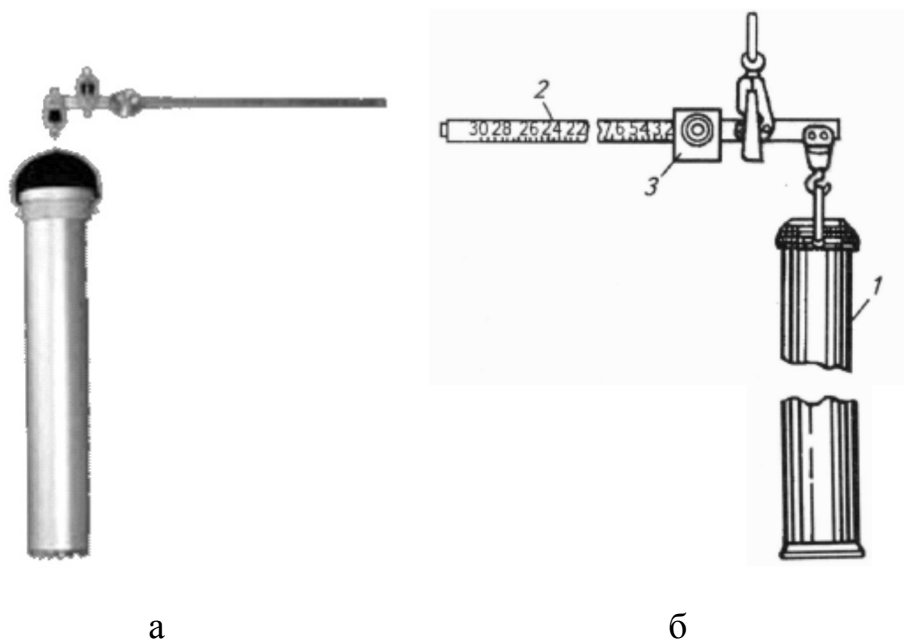


Рисунок 7.6 - Снегомер весовой ВС-4

а – общий вид; б - схема

1 — металлический градуированный цилиндр, 2 — металлическая линейка со шкалой, 3 — гиря безмена

Для измерения высоты снежного покрова на цилиндр (1) нанесена шкала в сантиметрах. Нулевое деление шкалы совпадает с нижней частью режущей кромки.

Весы снегомера состоят из латунной рейки (2) со шкалой (цена деления 5 г). Цифры стоят около каждого десятого деления от 0 до 30. На рейке укреплены две призмы. Одна призма служит опорой для крючка, на который подвешивают снегозаборник, а на вторую призму надевается подвес с кольцом, за которое держат весы при взвешивании. Над второй призмой расположена стрелка. По совпадению ее с риской на подвесе определяют положение равновесия. Для уравнивания весов служит передвижной груз (3) с круглым отверстием. Для отсчета по шкале на нижней стороне скошенного края отверстия нанесена риска.

**Измерения.** Снегомер за 30 мин до наблюдений выносят из помещения, чтобы он принял температуру окружающего воздуха. Для определения нулевого показания весов взвешивают пустой снегозаборник.

После этого снегозаборник режущей кромкой отвесно погружают в снег до тех пор, пока он не дойдет до почвы, и по шкале цилиндра измеряют высоту снежного покрова  $h$ . Затем с одной стороны цилиндра лопаткой отгребают снег, подсовывают ее под режущий край, чтобы весь снег, находящийся в цилиндре, остался. В таком положении цилиндр вынимают из снега, поворачивают крышкой вниз и взвешивают снегозаборник со снегом.

Отсчитав показания весов  $n_1$  определяют фактическое показание весов  $n = n_1 - n_0$ . Перед следующим измерением снегозаборник освобождают от снега и вновь определяют нулевое показание весов. Результаты измерений записывают в табл. 7.2.

Таблица 7.2 - Форма записи измерений

Номер измерений	Высота снежного покрова $h$ , см	Показания весов при взвешивании снегозаборника			Плотность снега, г/см <sup>3</sup>	Запас воды в снеге, мм
		$n_0$	$n_1$	$n$		

Расчет плотности снега производится по массе и объему его пробы. Масса взятой пробы равна  $5n$ , где  $n$  – число делений отсчитанных по шкале весов, а объем составляет  $50/h$  см<sup>3</sup>, где  $A$  – отсчет по шкале цилиндра. Тогда плотность снежного покрова  $d$  равна:

$$d = \frac{5n}{50h} = \frac{n}{10h}, \quad (7.1)$$

Если высота снежного покрова больше 60 см, то столб снега вырезают в несколько приемов и для расчета плотности в этом случае берут высоту снега  $A$ , равную сумме всех отсчетов высот, а показание  $n$  получают, суммируя все отсчеты по весам при взятии проб.

По данным измерений весового снегомера можно определить запас воды в снеге. Дополнительные расчеты в этом случае не производятся, так как весы и снегозаборник подобраны так, что запас воды взятой пробы снега соответствует числу делений на весах  $n$ . Убедиться в этом нетрудно. Масса снега  $5n$  одновременно будет массой воды, полученной из снега и, следовательно, объемом ее. Зная объем воды и приемную площадь снегозаборника, рассчитывают высоту слоя воды. Для этого объем воды делят на площадь сечения и для выражения слоя воды в миллиметрах умножают на 10 ( $\frac{5n}{50} \cdot 10 = n$ ). Таким образом, число делений, отсчитанное на весах при взвешивании пробы снега, равно количеству воды в снеге в миллиметрах.

### **Задания:**

1. Изучить устройство, правила установки осадкомера Третьякова и измерений по нему. Провести измерения по осадкомеру, определить количество выпавших осадков с помощью измерительного стакана (мм), перевести их в единицы объема ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) и вычислить интенсивность (мм/мин).

2. Ознакомиться с принципом действия плювиографа и обработкой плювиограммы.

3. Изучить правила измерений высоты снежного покрова (снегомерные рейки), вычислений плотности и запасов воды в снеге (весовой снегомер). При работе с приборами зимой измерить высоту снежного покрова, вычислить его плотность и запас воды на открытом и защищенном участках.

4. Построить график (диаграмму) годового хода осадков и высоты снежного покрова в течение зимы по данным метеорологической станции<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> *Примечание:*

Для построения графиков на оси абсцисс откладывают время (декаду, месяц), по оси ординат – количество осадков в миллиметрах или высоту снежного покрова в сантиметрах и строят прямоугольники, ширина которых соответствует времени, высота – количеству осадков или высоте снежного покрова

## Контрольные вопросы

1. Каков главный процесс, приводящий к образованию осадков? Каким образом подразделяются осадки в зависимости от условий их образования? Как делятся осадки по форме?
2. Что понимается под продолжительностью и интенсивностью осадков?
3. Какие существуют характеристики для описания режима осадков? Дайте характеристику различных типов годового хода осадков. Что такое изменчивость сумм осадков?
4. Что такое снежный покров? Каковы его характеристики? Какие существуют закономерности его установления и схода? В чем заключается климатическое значение снежного покрова?
5. На чем основан принцип действия работы стационарных и переносных снегомерных реек?

## 8 Определение формы и высоты облаков

Облаком называют видимую совокупность взвешенных в атмосфере и находящихся в процессе непрерывной эволюции капель и/или кристаллов, являющихся продуктами конденсации и/или сублимации водяного пара на высотах от нескольких десятков метров до нескольких километров. Изменение свойств этой совокупности частиц (фазового строения облака – соотношения капель и кристаллов по массе, числу частиц и другим параметрам в единице объема воздуха) происходит под влиянием температуры, влажности и вертикальных движений как внутри, так и вне облака. В свою очередь, выделение и поглощение тепла в результате фазовых переходов воды и наличия самих частиц в потоке воздуха оказывают обратное влияние на параметры облачной среды.

В ряде случаев под облаком может образоваться подоблачная дымка, которая состоит из очень мелких капель радиусом 0,1 мкм и менее и является признаком начала образования водяного облака. В результате конденсации водяного пара вблизи земной поверхности (в приземном слое атмосферы) образуются туман и дымка, ухудшающие метеорологическую дальность видимости до значения 1 км и менее.

По фазовому строению облака делятся на три группы.

1. **Водяные**, состоящие только из капель радиусом 1—2 мкм и более. Капли могут существовать не только при положительных, но и при отрицательных температурах. В последнем случае капли будут находиться в переохлажденном состоянии, что в атмосферных условиях вполне обычно. Чисто капельное строение облака сохраняется, как правило, до температур порядка  $-10...-15^{\circ}\text{C}$  (иногда и ниже).

2. **Смешанные**, состоящие из смеси переохлажденных капель и ледяных кристаллов при температурах  $-20...-30^{\circ}\text{C}$ .

3. **Ледяные**, состоящие только из ледяных кристаллов при достаточно низких температурах (порядка  $-30...-40^{\circ}\text{C}$ ).

Облачный покров днем уменьшает приток солнечной радиации к поверхности земли, а ночью заметно ослабляет ее излучение и, следовательно, охлаждение, весьма существенно уменьшает суточную амплитуду температуры воздуха и почвы, что влечет за собой соответствующее изменение и других метеорологических величин и атмосферных явлений. Функционирование сельского хозяйства, транспорта и прежде всего авиации, коммунального и водного хозяйства, курортов и других отраслей экономики в той или иной степени зависит от количества и формы облаков.

Регулярные и достоверные наблюдения за формами облаков и их трансформацией способствуют своевременному обнаружению опасных (ОЯ) и неблагоприятных (НГЯ) гидрометеорологических явлений, сопутствующих тому или иному виду облаков.

В программу метеорологических наблюдений включено слежение за динамикой развития облаков и определение следующих характеристик облачности:

- а) общее количество облаков,
- б) количество облаков нижнего яруса,
- в) форма облаков,
- г) высота нижней границы облаков нижнего или среднего яруса (при отсутствии облаков нижнего яруса).

Результаты наблюдений за облачностью из метеорологических наблюдательных подразделений в реальном режиме времени по коду КН-01 регулярно передаются в местные прогностические органы (организации и подразделения УГМС) и Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации (Гидрометцентр России) для синоптического анализа и составления прогнозов погоды различной заблаговременности.

Кроме того, эти данные рассчитываются за различные временные интервалы и используются для климатических оценок и обобщений.

Классификация тропосферных облаков по внешнему виду, используемая в настоящее время, получила название *международной морфологической классификации*. В соответствии с ней облака делятся на 10 основных форм. В каждой основной форме облаков различают виды и разновидности.

Облака всех форм встречаются на высотах от нескольких десятков метров до тропопаузы. В этом диапазоне высот условно различают облака трех ярусов.

Наряду с морфологической классификацией облаков используется и *генетическая классификация*, т. е. классификация по условиям (причинам) возникновения облаков. Кроме того, облака классифицируются по их микрофизическому строению, т. е. по агрегатному состоянию, виду и размерам облачных частиц, а также по их распределению внутри облака.

В соответствии с генетической классификацией облака делятся на три группы: слоистообразные, волнистообразные и кучевообразные (конвективные).

Правильность наблюдений за облаками, а следовательно, и ценность результатов наблюдений зависит от квалификации персонала наблюдательных подразделений и регулярности наблюдений за состоянием неба и его изменениями во времени.

С помощью визуальных наблюдений можно не только определять количество и форму облаков, но и делать некоторые заключения об их микроструктуре (например, о наличии в них ледяных частиц).

Характер погоды в конкретном районе определяется облачными системами, связанными с атмосферными фронтами и имеющими большую пространственную протяженность, поэтому очень важно, чтобы дежурный техник-метеоролог понимал сущность атмосферных процессов, приводящих к образованию облаков различных форм. Это поможет ему правильно определять формы облаков в тех случаях, когда облака несколько

отличаются от представленных в Атласе или относятся к переходным формам.

### **8.1 Морфологическая классификация облаков**

Как уже отмечалось, облака принято классифицировать по внешнему виду и высотам, на которых они образуются, – морфологическая классификация; по происхождению, т. е. по характеру процессов их образования, – генетическая классификация; по фазовому строению, точнее – по агрегатному состоянию облачных частиц.

На метеорологической сети для определения форм облаков применяется морфологическая классификация, в соответствии с которой составлен Атлас облаков.

В зависимости от высоты расположения основания облаков их относят к одному из ярусов. В особую группу выделяют облака вертикального развития, нижняя граница которых в большинстве случаев находится в нижнем ярусе, а верхняя — в нижнем, среднем или верхнем ярусе (табл. 8.1).

Основные отличительные признаки при определении формы облаков – их внешний вид и структура. Облака могут быть расположены на разных высотах в виде отдельных изолированных масс или сплошного покрова, их строение может быть различным (однородным, волокнистым и др.), а нижняя поверхность – ровной или расчлененной (и даже изорванной). Кроме того, облака могут быть плотными и непрозрачными или тонкими — сквозь них просвечивает голубое небо, луна или солнце.

В таблице 8.1 представлен современный вариант международной морфологической классификации облаков, в которой наряду с русскими приведены латинские наименования форм облаков и их сокращенные обозначения.



Таблица 8.1 – Морфологическая классификация облаков [8, 9]

Форма	Вид	Разновидность
<b>Облака верхнего яруса</b>		
1 Перистые Cirrus (Ci)	1.1 Перистые волокнистые Ci fibratus (Ci fib)	1.1.1 Перистые когтевидные Ci uncinus (Ci unc) 1.1.2 Перистые хребтовидные Ci vertebratus (Ci vert) 1.1.3 Перистые перепутанные Ci intortus (Ci int)
	1.2 Перистые плотные Ci spissatus (Ci sp)	1.2.1 Перистые образовавшиеся из наковален кучево-дождевых облаков Ci incus-genitus (Ci ing) 1.2.2 Перистые хлопьевидные Ci floccus (Ci floc)
2 Перисто-кучевые Cirrocumulus (Cc)	2.1 Перисто-кучевые волнистообразные Cc undulatus (Cc und)	2.1.1 Перисто-кучевые чечевицеобразные Cc lenticularis (Cc lent)
	2.2 Перисто-кучевые кучевообразные Cc cumuliformis (Cc cuf)	2.2.1 Перисто-кучевые хлопьевидные Cc floccus (Cc floc)
3 Перисто- слоистые Cirrostratus (Cs)	3.1 Перисто-слоистые волокнистые Cs fibratus (Cs fib)	
	3.2 Перисто-слоистые туманообразные Cs nebulosus (Cs neb)	
<b>Облака среднего яруса</b>		
4 Высококучевые Alto cumulus (Ac)	4.1 Высококучевые волнистообразные Ac undulatus (Ac und)	4.1.1 Высококучевые просвечивающие Ac translucidus (Ac trans) 4.1.2 Высококучевые непросвечивающие Ac opacus (Ac op) 4.1.3 Высококучевые чечевицеобразные Ac lenticularis (Ac lent) 4.1.4 Высококучевые неоднородные Ac inhomogenus (Ac inh)
	4.2 Высококучевые кучевообразные Ac cumuliformis (Ac cuf)	4.2.1 Высококучевые хлопьевидные Ac floccus (Ac floc) 4.2.2 Высококучевые башенковидные Ac castellanus (Ac cast) 4.2.3 Высококучевые образовавшиеся из кучевых Ac cumulogenitus (Ac cug)

		4.2.4 Высококучевые с полосами падения <i>Ac virga (Ac vir)</i>
5 Высококслоистые <i>Altostratus (As)</i>	5.1 Высококслоистые туманообразные <i>As nebulosus (As neb)</i>	5.1.1 Высококслоистые туманообразные просвечивающие <i>As nebulosus translucidus (As neb. trans)</i> 5.1.2 Высококслоистые туманообразные непросвечивающие <i>As nebulosus opacus (As neb. op)</i> 5.1.3 Высококслоистые туманообразные дающие осадки <i>As nebulosus praecipitans (As neb. pr)</i>
	5.2 Высококслоистые волнистообразные <i>As undulatus (As und)</i>	5.2.1 Высококслоистые волнистообразные просвечивающие <i>As undulatus translucidus (As und. trans)</i> 5.2.2 Высококслоистые волнистообразные непросвечивающие <i>As undulatus opacus (As und. op)</i> 5.2.3 Высококслоистые волнистообразные дающие осадки <i>As undulatus praecipitans (As und. pr)</i>
<b>Облака нижнего яруса</b>		
6 Слоисто-кучевые <i>Stratocumulus (Sc)</i>	6.1 Слоисто-кучевые волнистообразные <i>Sc undulatus (Sc und)</i>	6.1.1 Слоисто-кучевые просвечивающие <i>Sc translucidus (Sc trans)</i> 6.1.2 Слоисто-кучевые непросвечивающие <i>Sc opacus (Sc op)</i> 6.1.3 Слоисто-кучевые чечевицеобразные <i>Sc lenticularis (Sc lent)</i>
	6.2 Слоисто-кучевые кучевообразные <i>Sc cumuliformis (Sc cuf)</i>	6.2.1 Слоисто-кучевые башенковидные <i>Sc castellanus (Sc cast)</i> 6.2.2 Слоисто-кучевые растекающиеся дневные <i>Sc diurnalis (Sc diur)</i> 6.2.3 Слоисто-кучевые растекающиеся вечерние <i>Sc vespertalis (Sc vesp)</i> 6.2.4 Слоисто-кучевые вымеобразные <i>Sc mammatus (Sc mam)</i>
7 Слоистые <i>Stratus (St)</i>	7.1 Слоистые туманообразные <i>St nebulosus (St neb)</i>	

	7.2 Слоистые волнистообразные St undulatus (St und)	
	7.3 Разорванно-слоистые St fractus (St fr)	7.3.1 Разорванно-дождевые Fractonimbus (Frnb)
8 Слоисто- дождевые Nimbostratus (Ns)		
<b>Облака вертикального развития</b>		
9 Кучевые Cumulus (Cu)	9.1 Кучевые плоские Cu himilis (Cu hum)	9.1.1 Разорванно-кучевые Cu fractus (Cu fr)
	9.2 Кучевые средние Cu mediocris (Cu med)	
	9.3 Кучевые мощные Cu congestus (Cu cong)	9.3.1 Кучевые с покрывалом Cu pileus (Cu pil)
10 Кучево- дождевые Cumulonimbus (Cb)	10.1 Кучево-дождевые лысые Cb calvus (Cb calv)	10.1.1 Кучево-дождевые лысые с грозовым валом Cb calvus arcus (Cb calv. arc)
	10.2 Кучево-дождевые волосатые Cb capillatus (Cb cap)	10.2.1 Кучево-дождевые волосатые с грозовым валом Cb capillatus arcus (Cb cap. arc) 10.2.2 Кучево-дождевые волосатые с наковальной Cb capillatus incus (Cb cap. inc) 10.2.3 Кучево-дождевые волосатые плоские Cb capillatus humilis (Cb cap. hum) 10.2.4 Кучево-дождевые волосатые вымеобразные Cb capillatus mammatus (Cb cap. mam)

Следует также иметь в виду, что высота облаков одной и той же формы непостоянна и может несколько меняться в зависимости от характера процесса и местных условий. В среднем высота облаков больше на юге, чем на севере, и больше летом, чем зимой. Над горными районами облака располагаются ниже, чем над равнинными.

Важной характеристикой облаков являются выпадающие из них осадки. Облака одних форм практически всегда дают осадки, других – либо совсем не дают осадков, либо осадки из них не достигают поверхности земли. Факт выпадения осадков, а также их вид и характер выпадения служат

дополнительными признаками для определения форм, видов и разновидностей облаков.

Как правило, из облаков определенных форм выпадают следующие виды осадков:

- **ливневые** – из кучево-дождевых облаков (*Cb*);
- **обложные** – из слоисто-дождевых (*Ns*) во все сезоны, из высокослоистых (*As*) – зимой и иногда слабые – из слоисто-кучевых (*Sc*);
- **морозящие** – из слоистых облаков (*St*).

В процессе развития и распада облака меняется его внешний вид, структура и оно может трансформироваться из одной формы в другую.

При определении количества и форм облаков учитываются только облака, видимые с поверхности земли. Если все небо или его часть закрыта облаками нижнего (среднего) яруса, а облаков среднего (верхнего) яруса не видно, то это не означает, что они отсутствуют. Они могут находиться выше нижележащих слоев облаков, но это не учитывается при наблюдениях за облачностью.

Формы облаков определяется по внешнему виду в соответствии с принятой классификацией облаков. Типичные виды форм, их названия и цифры кода для их кодирования даны в Атласе облаков. Там же приведена классификация облаков, а также основных форм, видов и разновидностей их.

Высота нижней границы облаков измеряется как расстояние от поверхности земли до основания облака. Измерение высоты нижней границы проводится, если облака (их нижние основания) расположены не выше 2500 м над уровнем моря. Если облака расположены на разных уровнях и высоту самых низких облаков не удалось измерить инструментально, необходимо дополнительно оценить ее визуально.

При проведении наблюдений за характеристиками облачности должны соблюдаться следующие условия:

- наблюдения за количеством и формой облаков, а также визуальные наблюдения за высотой их нижней границы следует проводить с такого места на станции, с которого виден весь небосвод (по возможности до горизонта);

- оценка количества и форм облаков должна производиться в сроки наблюдений в соответствии с программой работы станции;

- учитывая непрерывные, часто быстрые изменения облачности и переход облаков одних форм в другие, необходимо следить за образованием, развитием и изменением облачности не только в сроки наблюдений, но и между сроками.

При наблюдениях определяется общее количество облаков всех ярусов, покрывающих весь видимый небосвод (общая облачность), и количество облаков только нижнего яруса (нижняя облачность).

Количество облаков по всему видимому небосводу оценивается визуально по 10-балльной шкале. При отсутствии облаков количество облаков оценивается 0 баллов. Если облаками занята 0,1 часть небосвода, количество облаков оценивается 1 баллом, 0,3 части — 3 баллами и т.д. При полном покрытии небосвода количество облаков оценивается 10 баллами.

Количество облаков менее 1 балла отмечается как следы, при этом форма этих облаков не определяется.

Если облаками покрыто более 0,9 небосвода (более 9 баллов), но имеются отдельные просветы (составляющие менее 0,1 небосвода), то количество облаков (облачность) оценивается как 10 баллов с просветами (10).

При оценке количества облаков, когда они занимают менее половины видимого небосвода, следует мысленно суммировать покрытые облаками части небосвода. Если количество облаков больше 5 баллов (т.е. облаками покрыто больше половины небосвода), удобнее суммировать площади, не занятые облаками, и полученную величину, выраженную в баллах, вычесть из десяти.

Остаток покажет количество облаков в баллах. Следы конденсации от самолетов включаются в количество облаков только в том случае, если они устойчивы и имеют сходство с какой-либо формой облаков.

Если сквозь туман, дымку или мглу видны облака, следует определить их количество, не считая туман, дымку или мглу за облака. Количество облаков на небосводе не оценивается, если туман или сильная мгла

просвечивают, но не в такой степени, чтобы можно было определить количество облаков.

Определение форм облаков, их видов и разновидностей производится для всех облаков, имеющих на небосводе, когда они по количеству составляют 0,5 балла и более.

Разрешается не определять форму облаков, находящихся ниже 5—6° над горизонтом, однако при этом облака с резко выраженными очертаниями (например, *Ci* и *Cb*) обязательно отмечаются.

Определение форм, видов и разновидностей облаков следует начинать с тех, которые занимают наибольшую часть небосвода, а затем переходить к следующим в порядке убывания их видимого количества.

**Облака верхнего яруса** состоят из мельчайших кристалликов льда:

- *перистые облака (Ci)* (средняя высота 7-8 км) — отдельные белые волокнистые облака, обычно прозрачные. Толщина слоя — от сотен метров до нескольких километров. Сквозь них просвечивают Солнце и Луна, яркие звезды. Осадков не дают. Время существования от 12-18 часов до нескольких суток. Одной из разновидностей перистых облаков являются перистые когтевидные — *Cirrus uncinus (Ci unc)*;

- *перисто-кучевые облака (Cc)* (средняя высота 6-8 км) — белые тонкие облака в виде мелких волн, ряби, хлопьев, без серых оттенков. Толщина слоя от 100 до 400 м. Хорошо просвечивают Солнце, Луна, яркие звезды. Осадков не дают. Время существования от десятков минут до нескольких часов;

- *перисто-слоистые облака (Cs)* (средняя высота 6-8 км) — однородная беловатая или голубоватая пелена слегка волокнистого строения, сквозь которую просвечивают Солнце и Луна. Вокруг светил образуется гало (радужные круги с радиусом 22 или 46° или части этих кругов). В Арктике могут давать осадки в виде мелкого снега. Как правило, пелена *Cs*, надвигаясь, постепенно закрывает все небо, нередко переходят в *As*. Время существования от 12-18 часов до нескольких суток.

### **Облака среднего яруса:**

- *высоко-кучевые облака (Ac)* (средняя высота 2-6 км) — белые, иногда сероватые облака в виде волн или гряд, состоящие из отдельных пластин или хлопьев, иногда сливающихся в сплошной покров. Состоят преимущественно из переохлажденных капель воды. Толщина слоя 200-700 м. В тонких облаках местами просвечивает Солнце и Луна. Осадков не дают.

Высоко-кучевые облака бывают просвечивающие *Alto cumulus translucidus (Ac trans)* и плотные *Alto cumulus opacus (Ac op)*, в виде сплошного покрова, на нижней поверхности которого рельефно выступают темные волны, гряды или пластины;

- *высоко-слоистые облака (As)* (средняя высота 3-5 км) — серая или синеватая однородная пелена слегка волокнистого строения. Как правило, постепенно закрывают все небо. большей частью состоят из переохлажденных капель воды и ледяных кристаллов. Толщина слоя 1-2 км. Эти облака могут быть просвечивающие *Alto stratus translucidus (As trans)* (Солнце и Луна просвечивают, как через матовое стекло, с образованием венцов вокруг светил) и плотные *Alto stratus opacus (As op)* (Солнце и Луна не просвечивают, но их местоположение на небе можно определить по расплывчатому пятну). Из облаков могут выпадать слабые осадки, достигающие поверхности земли в виде редких капель или снежинок.

### **Облака нижнего яруса:**

- *слоисто-кучевые облака (Sc)* (средняя высота 0,8-1,5 км) — серые облака, состоящие из крупных гряд, волн, пластин, разделенных просветами или сливающихся в сплошной серый волнистый покров. Состоят преимущественно из капель воды. Толщина слоя 200-800 м. В зимнее время состоят из переохлажденных капель воды, иногда встречается некоторое количество ледяных кристаллов и снежинок. Зимой из облаков могут выпадать осадки в виде снега;

- *слоистые облака (St)* (средняя высота 0,1-0,7 км) — однородный слой серого цвета, сходный с туманом, но расположенный на некоторой высоте. Состоят из капель воды, при температуре ниже 0°C капли находятся в

переохлажденном состоянии. Из облаков могут выпадать осадки в виде мороси. Толщина слоя 200-800 м. Солнце и Луна обычно не просвечивают;

- *слоисто-дождевые облака (Ns)* (средняя высота 0,1-1,0 км) — темно-серый облачный покров, иногда с синеватым оттенком. Обычно закрывает все небо сплошным слоем без просветов. Толщина слоя до нескольких километров. Из облаков выпадают осадки в виде обложного дождя или снега.

#### **Облака вертикального развития** (конвективные облака):

- *кучевые облака (Cu)* (средняя высота 0,8-1,5 км) — плотные, развитые по вертикали облака с белыми куполообразными вершинами и плоским сероватым основанием. Могут представлять собой отдельные, редко расположенные облака или образовывать скопления, закрывающие почти все небо. Облака состоят в основном из капель воды, при температуре ниже 0°C капли воды находятся в переохлажденном состоянии. Осадков не дают, но могут эволюционировать в дождевые облака, в т.ч. *Cb*.

Кучевые облака подразделяются на плоские кучевые *Cumulus humilis (Cu hum)*: их толщина меньше горизонтальной протяженности; кучевые средние *Cumulus mediocris (Cu med)*; мощные кучевые *Cumulus congestus (Cu cong)* сильно развиты по высоте. Изредка из *Cu cong* могут выпадать отдельные капли дождя. В тропиках могут давать ливни;

- *кучево-дождевые облака (Cb)* — мощные белые облачные массы с темным основанием. Поднимаются в виде гор или башен, верхние части которых имеют волокнистую структуру. Верхняя часть облака состоит из кристаллов льда (наковальня — *incus*). Из облаков выпадают ливневые осадки, летом часто с грозами.

Облака вертикального развития образуются при вертикальном подъеме воздуха (конвекции) и связанного с этим адиабатического охлаждения воздуха до стадии конденсации и сублимации водяного пара. Конвекция может быть термическая в неустойчивом слое воздуха и динамическая при натекании воздуха на горный хребет или при прохождении атмосферного фронта (холодного), когда холодный воздух клином подтекает под теплый, вынуждая его к бурному восходящему движению.



Внутримассовые конвективные облака на суше летом имеют суточный ход, появляются вскоре после восхода Солнца, наибольшего развития достигают в полуденные часы и с заходом Солнца растекаются. В тропиках над океанами кучевые облака имеют обратный суточный ход, т.е. развиваются в ночное время.

При прохождении атмосферного фронта эти облака могут быть в любое время суток.

Если уровень температурной инверсии находится ниже уровня конденсации, то облака не образуются.

Прохождение крупных кучево-дождевых облаков летом часто сопровождается шквалом, сильным, продолжительностью в несколько минут, ветром со скоростью до 20—30 м/с. Шквалы возникают в результате образования вихревого движения воздуха с горизонтальной осью в передней по ходу движения части облака.

При изменении условий образования облаков (вертикальная температурная стратификация, влажность, уровень конденсации, уровень замерзания) облака могут видоизменяться.

Перистые облака могут преобразоваться в перисто-слоистые. Перисто-слоистые облака при значительном уплотнении и снижении переходят в высоко-слоистые, которые при уплотнении и опускании нижней границы переходят в слоисто-дождевые.

Высоко-кучевые часто переходят в слоисто-кучевые. Слоисто-кучевые при снижении могут перейти в слоистые и в слоисто-дождевые. Также возможен обратный переход облаков.

В вечерние часы при ослаблении или прекращении термической конвекции происходит растекание кучевых облаков и они переходят в слоисто-кучевые вечерние — *Stratocumulus vespertalis* (*Sc vesp*).

Важными признаками, помогающими определить принадлежность облака к той или иной форме, виду или разновидности, являются:

- происхождение и развитие наблюдаемого облака из облаков какой-либо другой формы;

- световые (оптические) явления, наблюдаемые в облаках различных форм (круг вокруг Солнца и Луны, венцы, столбы), и степень прозрачности облаков;

- выпадающие из облаков осадки и их характер.

Определение количества облаков в темную часть суток надо производить, руководствуясь видимостью звезд, т.е. считая покрытыми облаками те части неба, где звезд не видно. Однако при этом надо иметь в виду, что существуют тонкие облака (*Ci*, *Cs* и др.), сквозь которые звезды хорошо просвечивают.

Низкие сплошные облака (например, *St fr*, *Sc* и пр.) могут быть определены также по их освещению наземными источниками света.

Количество и форму облаков можно определить с помощью радиолокационного метода радиолокатором МРЛ.

Высота нижней границы облаков измеряется с помощью различных методов: визуально, методом шара-пилота, триангуляционным, светолокационным, радиолокационным методами.

### **Задания:**

1. По атласу облаков определите и охарактеризуйте облака верхнего, среднего и нижнего ярусов.

### **Контрольные вопросы**

1. На какие виды делятся облака по высотам их образования? Каково микрофизическое строение отдельных родов облаков?

2. Как оценивается количество облаков (облачность) на небосводе? Как производится измерение высоты нижней границы облаков?

3. Каков генезис образования кучевообразных, волнообразных и слоистообразных облаков?

## 9 Измерение составляющих радиационного баланса (актинометрические наблюдения)

Лучистая энергия Солнца, являясь основным источником тепла, обуславливает жизнь на Земле во всем многообразии. Вид метеорологических наблюдений, занимающийся измерением потоков солнечной радиации, называется актинометрическими наблюдениями. Актинометрические наблюдения на гидрометеорологических станциях имеют целью получение данных о радиационном режиме, необходимых для научных целей и различного использования различными отраслями экономики [10].

### 9.1 Потоки лучистой энергии и единицы измерения

**Прямая радиация  $S$**  — часть солнечного излучения, приходящего на земную поверхность непосредственно от диска солнца. Количество прямой радиации, поступающей в единицу времени на единицу поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, называется энергетической освещенностью. Энергетическая освещенность прямой радиации, поступающая на горизонтальную поверхность,  $S'$  вычисляется по формуле:

$$S' = S \sin h_{\odot}, \quad (9.1)$$

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

**Рассеянная радиация  $D$**  – часть солнечного излучения, рассеянного атмосферой и поступающего от всего небосвода, исключая диск солнца. Измеряется она количеством энергии, приходящей в единицу времени на единицу горизонтальной поверхности.

**Суммарная радиация  $Q$**  – сумма прямой  $S'$  (на горизонтальную поверхность) и рассеянной  $D$  радиации:

$$Q = S' + D \quad (9.2)$$

**Отраженная радиация  $R_k$ .** Поступая на земную поверхность, суммарная радиация не полностью поглощается ею, а частично отражается. Часть суммарной радиации, отражающаяся от земной поверхности, называется отраженной радиацией. Ее измеряют количеством энергии, поступающей в единицу времени на единицу горизонтальной поверхности, обращенной к земле. На практике чаще определяют отражательную способность, или альбедо.

**Альбедо  $A_k$**  – это отношение отраженной солнечной радиации к суммарной радиации, выражаемое обычно в процентах:

$$A_k = \frac{R_k}{Q} \cdot 100\% \quad (9.3)$$

Прямая, рассеянная и отраженная радиация составляет коротковолновую радиацию.

**Баланс коротковолновой радиации  $B_k$ ,** или поглощенная часть коротковолновой радиации, от которой зависит нагревание земной поверхности, представляет собой разность между суммарной  $Q$  и отраженной  $R_k$  радиацией:

$$B_k = Q - R_k \quad (9.4)$$

**Эффективное излучение.** Земля и атмосфера поглощают коротковолновую радиацию, нагреваются и сами непрерывно излучают энергию в окружающее пространство. Это длинноволновая радиация.

Разность между земным излучением  $E_z$  и встречным излучением атмосферы  $E_a$  называется эффективным излучением  $E_{эф}$ :

$$E_{эф} = E_z - E_a. \quad (9.5)$$

Эффективное излучение непосредственно измерить трудно, поэтому на практике для приближенного расчета пользуются эмпирическими формулами. Довольно хорошо согласуются с действительными расчетные данные эффективного излучения, полученные по формулам А. И. Ангстрема:

для ясного неба

$$E_{эф0} = 0,95\sigma T^4 (0,180 + 0,250 \cdot 10^{-0,126e}), \quad (9.6)$$

для облачного неба

$$E_{эф} = E_{эф0} (1 - 0,76n), \quad (9.7)$$

где  $E_{эф0}$  и  $E_{эф}$  – эффективное излучение соответственно для ясного и облачного неба;  $T$  – температура воздуха на высоте 1,5 – 2,0 м, в Кельвинах;  $e$  – парциальное давление водяного пара на высоте 1,5 – 2,0 м, в мм рт. ст.;  $n$  – облачность, в баллах;  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана, она равна  $5,67 \cdot 10^{-11}$  кВт/м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

**Радиационный баланс деятельной поверхности  $B$**  — разность между приходом и расходом радиации на этой поверхности:

$$B = S' + D - R_k - E_{эф}. \quad (9.8)$$

Ночью радиационный баланс выражается балансом только длинноволновой радиации, который равен эффективному излучению, взятому с обратным знаком:

$$B = E_a - E_z = -E_{эф}. \quad (9.9)$$

Энергетическая освещенность выражается в ваттах на  $1 \text{ м}^2$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). В практической актинометрии до недавнего времени энергетическая освещенность выражалась в калориях за 1 мин на  $1 \text{ см}^2$  ( $\text{кал}/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$ ). Соотношение между единицами измерений следующее:  $1 \text{ кал}/(\text{мин} \cdot \text{см}^2) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Сумма радиации, поступающая на единицу площади за тот или иной промежуток времени, измеряется в джоулях на  $1 \text{ м}^2$  ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ) или в мегаджоулях на  $1 \text{ м}^2$  ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) ( $1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2$ ).

**Продолжительность солнечного сияния.** Большое значение для фотосинтеза и других физиологических процессов имеют продолжительность солнечного сияния и освещенность.

Продолжительность солнечного сияния – время, в течение которого на земную поверхность поступает прямая солнечная радиация. Выражается она в часах и минутах, а также в процентах от возможного значения, т. е. продолжительности дня [10, 11].

## 9.2 Методы измерения лучистой энергии

Для измерения потоков солнечной радиации применяются актинометрические приборы различной конструкции. Все они подразделяются на абсолютные и относительные.

Абсолютные приборы по устройству и обращению довольно сложны. Применяются они преимущественно для проверки относительных приборов. Из относительных приборов наибольшее распространение имеют термоэлектрические, в конструкции которых используется термоэлектрический принцип, основанный на зависимости силы термотока от разности температуры спаев.

Приемником термоэлектрических приборов служат термобатареи из спаев двух металлов (рис. 9.1, 9.2). Разность температур спаев создается в результате их различной поглотительной способности или помещения спаев в разные радиационные условия.

В термоэлектрическом приемнике (рис. 9.1) спай (1) покрывается платиновой чернью или сажей, а спай (2) – окисью магния (белый цвет). В термозвездочке (рис. 9.2) одни спаи облучаются (спай 2), другие – затеняются (спай 3). В результате неодинакового нагревания спаев создается разность температур и в цепи возникает термоток, который измеряется гальванометром. Так как разность температур спаев обусловлена поступающей радиацией, то энергетическая освещенность будет пропорциональна силе термоэлектрического тока:

$$S = aN \quad (9.10)$$

где  $N$  – отклонение стрелки гальванометра, дел;  $a$  – переводной множитель, в Вт/(м<sup>2</sup> · дел).

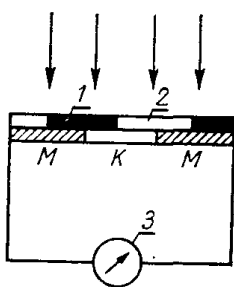


Рисунок 9.1 - Схема термоэлектрического приемника

1 – зачерненный спай, 2 – белый спай,  
3 – гальванометр

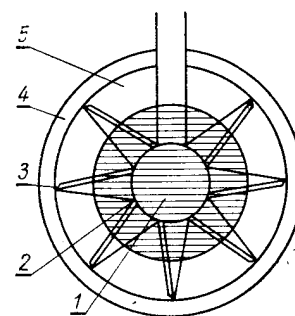


Рисунок 9.2 - Схема термозвездочки актинометра

1 – диск из серебряной фольги  
2 – внутренние спаи, 3 – внешние спаи  
4 – медный диск, 5 – изоляционная прокладка

В паре с термоэлектрическими приборами применяется стрелочный гальванометр типа ГСА-1.

Переводный множитель для каждой такой пары определяют путем сравнения с контрольным прибором или рассчитывают по электрическим характеристикам, содержащимся в сертификатах гальванометра и актинометрического прибора:

$$a = \frac{\alpha}{1000\kappa} (R_{\delta} + R_2 + R_{доб}) \quad (9.11)$$

где  $a$  – переводный множитель;  $\alpha$  – цена деления шкалы гальванометра [мкА];  $\kappa$  – чувствительность термоэлектрического прибора [мВ на 698 Вт/м<sup>2</sup>];  $R_{\delta}$  – сопротивление термобатареи [Ом];  $R_2$  – внутреннее сопротивление гальванометра;  $R_{доб}$  – добавочное сопротивление гальванометра.

Термоэлектрические приборы благодаря простоте устройства, большой точности и малой инерции (15 – 40 с) получили широкое распространение для наблюдений на метеорологических станциях и в полевых условиях.

Для измерений интенсивности прямой солнечной радиации используют актинометры, рассеянной и суммарной радиации – пиранометры, отражательной способности – альбедометры, радиационного баланса – балансомеры.

При работе с актинометрическими приборами записывают среднее солнечное время  $t_m$  начала и конца наблюдений с точностью до 1 мин, вычисляют среднее солнечное время середины наблюдений и переводят его в истинное солнечное время, отмечают облачность, состояние солнечного диска и атмосферные явления.

Отсчеты по гальванометру производят с точностью до 0,1 деления шкалы гальванометра, а шкаловую поправку в показания гальванометра вводят в том случае, если ее значение не меньше 0,5 деления шкалы. Радиационный баланс и его составляющие вычисляют с точностью до 0,01 Вт/м<sup>2</sup>.





внутренние спаи (2) термоэлемента из манганина и константана. Внешние спаи (3) термоэлемента через изоляционную бумажную прокладку (5) подклеены к медному диску (4), зажатому в массивном медном корпусе со скобами, к которым присоединены выводы термобатареи и мягкие провода (рис. 9.2).

Под воздействием поглощенной солнечной радиации температура зачерненного диска и активных спаев термопары повышается по сравнению с температурой пассивных спаев, укрепленных на корпусе и, следовательно, имеющих температуру наружного воздуха. Возникающий термоэлектрический ток, пропорциональный разности температур активных и пассивных спаев, измеряется гальванометром [11, 12].

Внутри трубки имеются диафрагмы, которые выделяют пучок солнечных лучей с углом  $10^\circ$  так, что зачерненный диск воспринимает радиацию от солнечного диска и околосолнечной зоны неба радиусом  $5^\circ$ .

**Установка.** Вначале ось штатива устанавливают по широте места наблюдений. Для этого, ослабив винт (2), поворачивают ось штатива до совпадения деления шкалы (9), соответствующего данной широте, с риску и закрепляют ось в этом положении. Затем актинометр устанавливают на горизонтальной подставке (11) так, чтобы стрелка на плате была направлена на север. Потом приемник ориентируют на солнце. Достигается это ослаблением винта (3) и вращением рукоятки (6) до тех пор, пока пучок света через отверстие верхнего кольца не попадает на точку нижнего кольца.

Перед началом измерений определяется место нуля гальванометра.

После установки актинометра при открытой крышке и освобожденном арретире гальванометра его присоединяют к клеммам гальванометра (+) и (С), соблюдая полярность. Если стрелка гальванометра отклоняется за нуль, провода меняют местами.

**Измерения.** За 1 мин до начала измерений проверяют наведение приемника актинометра на солнце. После этого крышку закрывают и по гальванометру делают отсчет нулевого положения стрелки  $N'_0$ . Затем

снимают крышку, проверяют точность нацеливания на солнце, три раза отсчитывают показания гальванометра с интервалом в 10 – 15 с ( $N_1, N_2, N_3$ ) и, закрыв крышку, через 1 – 2 мин еще раз отсчитывают нулевое положение стрелки гальванометра  $N''_0$ . После измерений прибор закрывают крышкой футляра. Данные измерений заносят в таблицу 9.1.

**Обработка измерений.** Из двух отсчетов нулевого положения стрелки гальванометра и трех отсчетов показаний гальванометра определяют средние значения  $N_0$  и  $\bar{N}$  с точностью до 0,1:

$$N_0 = \frac{N_0^I + N_0^{II}}{2} \quad \text{и} \quad \bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} \quad (9.12)$$

Таблица 9.1 - Форма записи измерений

Актинометр №

Гальванометр №

Переводный множитель а =

Время солнечное		Высота солнца над горизонтом	Номер отсчета	Отсчеты по гальванометру	
среднее	истинное			места нуля	прямой радиации

Для получения фактического показания гальванометра  $N$  по среднему значению  $\bar{N}$  определяют поправку  $\Delta N$  из поверочного свидетельства гальванометра и вычитают среднее нулевое положение стрелки гальванометра  $N_0$ :

$$N = \bar{N} \pm \Delta N - N_0 \quad (9.13)$$

Для выражения прямой радиации  $S$  в  $\text{Вт}/\text{м}^2$  показания гальванометра  $N$  умножают на переводный множитель  $a$ :  $S = aN$

Прямую радиацию на горизонтальную поверхность вычисляют по формуле (9.1) :  $S' = S \sin h_{\odot}$ .

Высоту солнца над горизонтом  $h_{\odot}$  и  $\sin h_{\odot}$  можно определить по специальным таблицам или по формуле:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \sigma_{\odot} + \cos \varphi \cos \sigma_{\odot} \cos \theta \quad (9.14)$$

где  $\varphi$  – географическая широта места;  $\sigma_{\odot}$  – склонение солнца;  $\theta$  - часовой угол солнца, представляющий собой истинное солнечное время, считаемое от полудня, выражается в градусах:  $\theta = 15^{\circ} (t_{\text{ист}} - 12 \text{ ч})$ .

#### 9.4 Измерение суммарной, рассеянной и отраженной радиации

Суммарная радиация  $Q$ , рассеянная  $D$  и отраженная радиация  $R$  измеряются в России с помощью **пиранометра Янишевского типа М-80М с приемником М-115**.

**Устройство пиранометра** (рис. 9.4). Принцип действия прибора такой же как у актинометра: солнечная радиация поступает на спай термобатарей, возникает термоЭДС и теплоток, который прямо пропорционален интенсивности солнечного облучения, сила теплоточка отсчитывается или регистрируется соответствующими устройствами.

Термоэлектрический пиранометр имеет приемник типа М-115, в котором под специальным полусферическим колпаком размещена квадратная термобатарея. Полусферический колпак пропускает радиацию в диапазоне  $\lambda=0,33-3,00$  мкм. Он защищает от ветра и гидрометеоров.

Термобатарея состоит из последовательно спаянных манганиновых и

константановых полос, положенных так, что спаи располагаются в середине и на поворотах. С внешней стороны поверхность термобатареи покрыта сажой и магнезией. Поля термобатареи окрашены в черный и белый цвета в шахматном порядке. Четные спаи термобатареи окрашены в белый цвет, а нечетные - в черный. Черные и белые участки чередуются в шахматном порядке. Через изоляционную бумажную прокладку термобатарея прикреплена к ребрам плитки, привинченной к корпусу. Для присоединения пиранометра к гальванометру выводы термобатареи подведены к клеммам, расположенным на нижней стороне корпуса. Корпус с термобатареей и стеклянным колпаком составляет головку пиранометра (1), которая привинчена к стойке (9) с откидной платой.

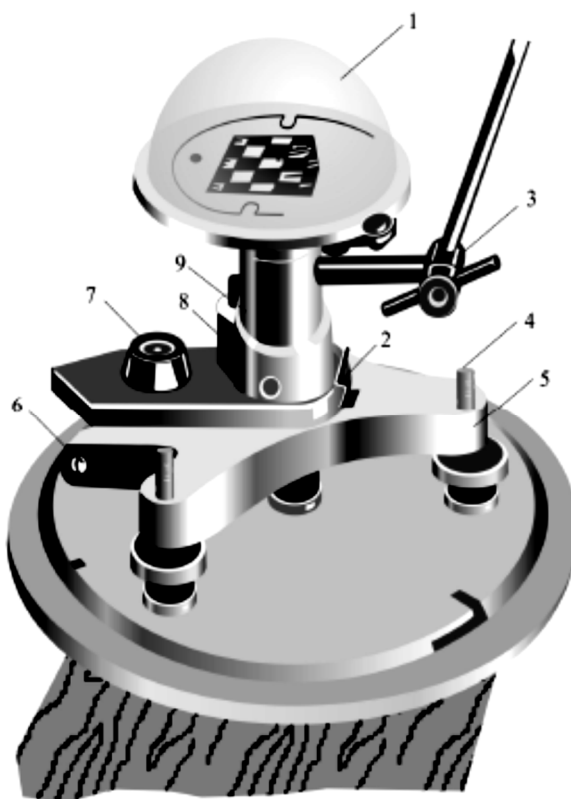


Рисунок 9.4 - Термоэлектрический пиранометр М-80М

1 — пиранометрическая головка; 2 — стопорная пружина; 3 — шарнирное крепление затенителя; 4 — подъемный винт; 5 — подставка; 6 — шарнир откидной части; 7 — уровень; 8 — винт; 9 — стойка

Для предохранения термобатареи и стеклянного колпака от возможной конденсации водяного пара внутри стойки имеется стеклянная сушилка с

химическим поглотителем влаги (металлический натрий, силикагель и др.).

Откидная плата пружиной (2) соединяется с треногой (5), которая укреплена на основании футляра и имеет два установочных винта (4). При измерении рассеянной или суммарной радиации головку пиранометра устанавливают горизонтально по уровню (7) вращением винтов (4). Для затенения головки пиранометра от прямых солнечных лучей служит теневой экран, состоящий из стержня длиной 485 мм и прикрепленного к нему диска диаметром 85 мм, что обеспечивает закрытие  $10^\circ$  зоны небосвода.

При затенении приемника пиранометра теневым экраном измеряется рассеянная, а без затенения — суммарная радиация. Для измерения отраженной радиации пиранометр опрокидывается головкой вниз.

К пиранометру прилагается металлическая крышка, которой закрывают приемник для определения нулевого показания стрелки гальванометра, а между сроками наблюдений - для защиты колпака от повреждений.

**Установка.** Прибор устанавливают на открытой площадке на высоте 1,5 м от поверхности участка. Перед наблюдением проверяют наличие осушителя в стеклянной сушилке (1/3 сушилки должна быть заполнена осушителем). Затем трубку с теневым экраном присоединяют к стержню.

К солнцу пиранометр поворачивают всегда одной и той же стороной, отмеченной номером на головке. Для поворота головки пиранометра номером к солнцу винт (8) слегка ослабляют, а после поворота опять закрепляют. Горизонтальность термобатарей проверяют по уровню (7) и в случае нарушения ее регулируют установочными винтами (4).

Гальванометр для измерения силы термотока устанавливают с северной стороны от пиранометра на таком расстоянии, чтобы наблюдатель при отсчетах не затенял пиранометр не только от прямых солнечных лучей, но и от участков небесного свода. Правильность подключения пиранометра к гальванометру проверяют при снятой крышке пиранометра и освобожденном арретире гальванометра. При отклонении стрелки за нуль шкалы провода меняют местами.

**Измерения.** Непосредственно перед измерением проверяют правильность установки прибора по уровню и относительно солнца. Для отсчета нулевого показания гальванометра головку пиранометра закрывают крышкой и записывают показания гальванометра  $N'_0$ . После этого крышку пиранометра снимают и делают серию отсчетов с интервалом 10 – 15 с.

Вначале измеряют рассеянную радиацию. Для этого при затененном пиранометре делают три отсчета –  $N_1, N_2, N_3$ . Потом измеряют суммарную радиацию, для чего при незатененном положении (теневого экран опускают) делают также три отсчета –  $N_4, N_5, N_6$ . После этого головку закрывают крышкой и повторно отсчитывают место нуля  $N''_0$  стрелки гальванометра. После измерений трубку с теневым экраном отвинчивают и пиранометр закрывают крышкой футляра. Все показания прибора записывают в табл. 9.2.

**Обработка измерений.** Из серий отсчетов по гальванометру определяют средние значения нулевого положения стрелки гальванометра и средние значения для каждого вида радиации  $N_0, \bar{N}_D, \bar{N}_Q$ :

$$N_0 = \frac{N'_0 + N''_0}{2}; \quad \bar{N}_D = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}; \quad \bar{N}_Q = \frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}; \quad (9.15)$$

Таблица 9.2 - Форма записи измерений

Пиранометр №

Гальванометр №

Переводный множитель а =

Время	Номер отсчета	Отсчеты по гальванометру		
		места нуля	рассеянной радиации	суммарной радиации

Затем вводят шкаловые поправки  $\Delta N_D$  и  $\Delta N_Q$  из поверочного свидетельства гальванометра, вычитают нулевое показание стрелки гальванометра и получают исправленные значения  $N_D$  и  $N_Q$  :

$$N_D = \bar{N}_D \pm \Delta N_D - N_0; \quad N_Q = \bar{N}_Q \pm \Delta N_Q - N_0 \quad (9.16)$$

Для определения рассеянной радиации  $D$  в  $\text{Вт/м}^2$  показания гальванометра  $N_D$  умножают на переводный множитель  $a$ :  $D = aN_D$ .

Для определения суммарной радиации  $Q$  в  $\text{Вт/м}^2$  учитывают еще поправочный множитель на высоту солнца  $F_h$ . Этот поправочный множитель дается в поверочном свидетельстве в форме графика: по оси абсцисс нанесена высота солнца над горизонтом, а по оси ординат – поправочный множитель.

С учетом поправочного множителя на высоту солнца суммарную радиацию определяют по формуле:

$$Q = a[(N_Q - N_D) F_h + N_D] \quad (9.17)$$

По данным пиранометра может быть вычислена и энергетическая освещенность, создаваемая прямой радиацией на горизонтальную поверхность как разность суммарной и рассеянной радиации:  $S' = Q - D$ .

## 9.5 Определение альбедо

Для измерения в походных условиях суммарной, рассеянной и отраженной радиации применяется **походный альбедометр М-69**.

На практике он используется главным образом для определения альбедо деятельной поверхности.



### *Устройство альбедометра* (рис. 9.5).

Приемником альбедометра служит головка пиранометра (1), привинченная на втулке к трубке с карданным подвесом (2) и рукояткой. Поворотом рукоятки на  $180^\circ$  приемник может быть обращен вверх для измерения входящей коротковолновой радиации и вниз для измерения отраженной коротковолновой радиации. Чтобы трубка была в отвесном положении, внутри нее на стержне скользит специальный груз (3), который при поворотах прибора всегда передвигается вниз. Для смягчения ударов при повороте прибора на концах трубки подложены резиновые прокладки.

В разобранном виде головка, трубка и рукоятка крепятся на основании металлического футляра.

**Установка.** Перед наблюдением с основания футляра снимают головку, трубку, рукоятку и их свинчивают: головку привинчивают к трубке, а рукоятку – к карданному подвесу. Для исключения радиации, которую может отражать сам наблюдатель, рукоятку насаживают на деревянный шест длиной около 2 м.

Альбедометр подсоединяют мягкими проводами к гальванометру на клеммы (+) и (С) при открытом приемнике и освобожденном арретире гальванометра. Если стрелка гальванометра уходит за нуль, провода меняют местами.

Во время измерений на постоянном участке приемник альбедометра устанавливают на высоте 1 – 1,5 м над деятельной поверхностью, а на



Рисунок 8.5 -  
Альбедометр походный  
М-69

1 — пиранометрическая головка;  
2 — карданный подвес;  
3 — противовес

сельскохозяйственных полях – на расстоянии 0,5 м от верхнего уровня растительного покрова. При измерении суммарной и рассеянной радиации головку альбедометра поворачивают номером к солнцу.

**Измерения.** За 3 минуты до начала измерений отмечают место нуля стрелки гальванометра. Для этого головку альбедометра закрывают металлической крышкой и отсчитывают показания гальванометра  $N_0'$ . Затем открывают крышку и для измерения суммарной радиации производят три отсчета по гальванометру при положении приемника альбедометра вверх –  $N_1, N_2, N_3$ . После третьего отсчета приемник поворачивают вниз и через 1 минуту производят три отсчета для измерения отраженной радиации –  $N_4, N_5, N_6$ . Потом приемник снова поворачивают вверх и через 1 минуту делают еще три отсчета для измерения суммарной радиации –  $N_7, N_8, N_9$ . После окончания серии отсчетов приемник закрывают крышкой и отсчитывают нулевое показание стрелки гальванометра  $N_0''$ . Все показания заносят в таблицу 9.3.

Таблица 9.3 - Форма записи измерений

Альбедометр №

Гальванометр №

Время	Номер отсчета	Отсчеты по гальванометру		
		место нуля	суммарная радиация	отраженная радиация

**Обработка измерений.** Сначала вычисляют среднее значение нулевого отсчета и средние значения показаний гальванометра для каждого вида радиации  $N_0, \bar{N}_Q, \bar{N}_{R_k}$

$$N_0 = \frac{N_0' + N_0''}{2}, \quad \bar{N}_Q = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_7 + N_8 + N_9}{6}, \quad \bar{N}_{R_k} = \frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}. \quad (9.18)$$

Затем к средним значениям вводят шкаловую поправку из поверочного свидетельства  $\Delta N_Q$  и  $\Delta N_{R_K}$ , вычитают место нуля  $N_0$  и определяют исправленные значения  $N_Q$  и  $N_{R_K}$ :

$$N_Q = \bar{N}_Q \pm \Delta N_Q - N_0; \quad N_{R_K} = \bar{N}_{R_K} \pm \Delta N_{R_K} - N_0 \quad (9.19)$$

Так как альbedo выражается отношением отраженной радиации к суммарной, то переводный множитель сокращается и альbedo вычисляется как отношение исправленных показаний гальванометра при измерении отраженной и суммарной радиации (в процентах):

$$A = \frac{N_{R_K}}{N_Q} \cdot 100\% \quad (9.20)$$

## 9.6 Измерение радиационного баланса

Измерение радиационного баланса деятельной поверхности осуществляется **балансомером термоэлектрического типа М-10М** (конструкция Янишевского).

**Устройство балансомера** (рис. 9.6). Балансомер представляет собой диск (1) (корпус балансомера) с двумя квадратными приемниками (2) на противоположных сторонах и рукояткой (11).

Приемниками балансомера служат две зачерненные с внешней стороны медные пластинки, имеющие форму квадрата со сторонами 48 мм. При измерениях одна пластинка обращена вверх и на нее поступает суммарная коротковолновая радиация  $Q$  и длинноволновое излучение атмосферы  $E_a$ . На другую пластинку, обращенную вниз, поступает отраженная коротковолновая радиация  $R_K$  и излучение подстилающей поверхности  $E_s$  вместе с отраженной частью длинноволновой радиации  $R_D$ . С внутренней

стороны медных пластинок через бумажные изоляционные прокладки (6, 7) приклеены спаи (3, 4) термобатарей (8). Спаи образованы витками намотанной на медный брусок (5) константановой ленты (10). На половину каждого витка нанесен слой серебра (9). Начало и к верхней, а нечетные – к нижней пластинке. Вся термобатарея состоит из десяти брусков, на каждый из которых намотано 32 – 33 витка. Балансомер с помощью шарнира (15) устанавливается на планке (14). К планке на шарнире (13) присоединяется стержень с теневым экраном (12), который защищает приемник от прямых солнечных лучей. При применении экрана, видимого из центра приемника под углом  $10^\circ$ , прямая радиации исключается из показаний балансомера, что повышает точность измерений, но в этом случае прямую радиацию необходимо измерять актинометром. Для защиты приемника от осадков и пыли служит чехол (17), который закрепляется винтом (16).

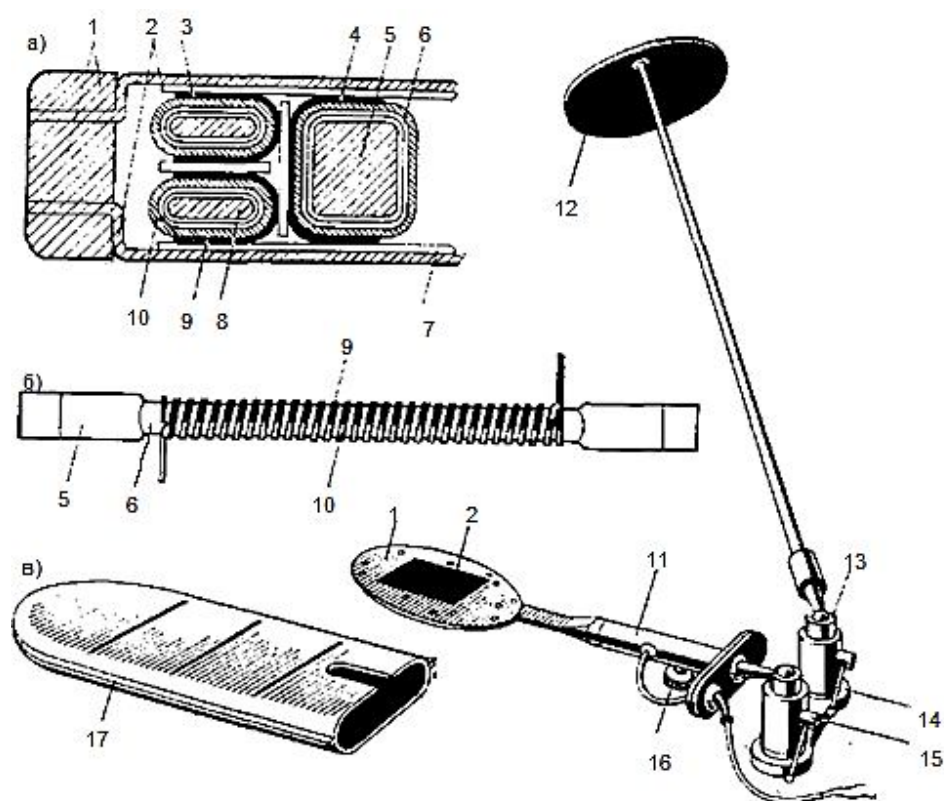


Рисунок 9.6 - Балансомер М-10М

*а – схематическое поперечное сечение, б – отдельная термобатарея, в – внешний вид;*  
 1 – корпус, 2 – приемная пластинка, 3,4 – спаи, 5 – медный брусок, 6, 7 – изоляция,  
 8 – термобатареи, 9 – серебряный слой, 10 – константановая лента, 11 – рукоятка,  
 12 – теневой экран, 13, 15 – шарниры, 14 – планка, 16 – винт, 17 – чехол

**Установка.** Балансомер устанавливают горизонтально на высоте 1,5 м от земли. Планку балансомера прикрепляют к концу деревянной рейки так, чтобы один и тот же приемник всегда был направлен вверх (эта сторона на корпусе отмечена цифрой (1)). Выводы из термобатареи подключают к гальванометру.

В большинстве случаев балансомер затеняют экраном от прямой солнечной радиации. Поэтому на одной рейке с балансомером устанавливают актинометр для измерения прямой радиации.

Показания балансомера зависят от скорости ветра, так как с увеличением скорости ветра усиливается конвективный теплообмен за счет разности температур воздуха и каждой пластинки приемника. Для учета влияния скорости ветра на уровне балансомера и небольшом расстоянии от него устанавливают анемометр или ветромер.

**Измерения.** За 3 минуты до начала наблюдения определяют место нуля гальванометра  $N'_0$ . Делают это при разомкнутой цепи. После этого балансомер подключают к гальванометру так, чтобы стрелка гальванометра отклонялась вправо, и производят три отсчета по нему ( $N_1, N_2, N_3$ ) и одновременно три отсчета по анемометру ( $v_1, v_2, v_3$ ). Если балансомер установлен с теневым экраном, то после первого и второго отсчетов по балансомеру производят два отсчета по актинометру. После отключения балансомера повторно отсчитывают нулевое показание стрелки гальванометра  $N''_0$ . Результаты измерений заносят в таблицу 9.4.

**Обработка измерений.** Из серии отсчетов по гальванометру и по анемометру находят средние значения  $N_0, \bar{N}, v$  (скорость ветра вычисляют с точностью до 1 м/с):

$$N_0 = \frac{N'_0 + N''_0}{2}, \quad \bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}; \quad v = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}. \quad (9.21)$$

Таблица 9.4 - Форма записи измерений без теневого экрана

Балансомер №

Гальванометр №

Переводной множитель  $a =$

Поправочный множитель  $k$  (табл. 9.5) =

Время	Номер отсчета	Отсчета по гальванометру		Скорость ветра по анемометру или ветромеру, м/с
		места нуля	радиационного баланса	

Для определения исправленного отсчета  $N$  к среднему значению вводят шкаловую поправку  $\Delta N$  из поверочного свидетельства гальванометра и вычитают место нуля  $N_0$ .

$$N = \bar{N} \pm \Delta N - N_0 \quad (9.22)$$

Для вычисления радиационного баланса в Вт/м<sup>2</sup> исправленный отсчет умножают на переводный множитель  $a$  и поправочный  $k$ , который определяют из поверочного свидетельства по средней скорости ветра:

$$B = a k N \quad (9.23)$$

Таблица 9.5 - Поправочный множитель  $k$

Скорость ветра, м/с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12
Поправочный множитель $k$	1,00	1,02	1,05	1,08	1,10	1,13	1,15	1,17	1,19	1,22	1,25

Показания балансомера, умноженные на поправочный множитель, соответствующий данной скорости ветра, приводят к показаниям балансомера при штиле.

Если измерения производились с теневым экраном, то сначала вычисляют баланс без прямой солнечной радиации:  $B-S'=akN_{т.э}$ . Радиационный баланс  $B$  определяют после расчета прямой радиации на горизонтальную поверхность  $S':B = akN_{т.э}+S'$ .

### 9.7 Измерение продолжительности солнечного сияния

Для регистрации продолжительности солнечного сияния, т.е. промежутков времени, в течение которых солнечный диск не закрыт облаками, служит **гелиограф ГУ-1**. Принцип действия гелиографа основан на прожигании бумажных лент солнечными лучами, собранными в фокусе стеклянного шара.

**Устройство гелиографа** (рис. 9.7). Основной частью гелиографа является стеклянный шар диаметром 98 мм, укрепленный в дугообразном держателе сферическими шайбами, винтом и контргайкой.

Основанием прибора является плоская металлическая плита с двумя стойками (1). Между стойками на горизонтальной оси (2) укреплена подвижная часть прибора, состоящая из колонки (3) с лимбом (4) и нижним упором (7), скобы (6) с чашкой (5) и верхним упором (15) и стеклянного шара (8), который является сферической линзой.

На одном из концов горизонтальной оси закреплен сектор (9) со шкалой широт. При перемещении горизонтальной оси (2) прибора с запада на восток и повороте верхней части прибора вокруг нее ось колонки (3) устанавливается параллельно оси вращения Земли (оси мира). Для закрепления установленного угла наклона оси колонки служит винт (11).

Верхняя часть прибора может поворачиваться вокруг оси колонки (3) и фиксироваться в четырех определенных положениях.

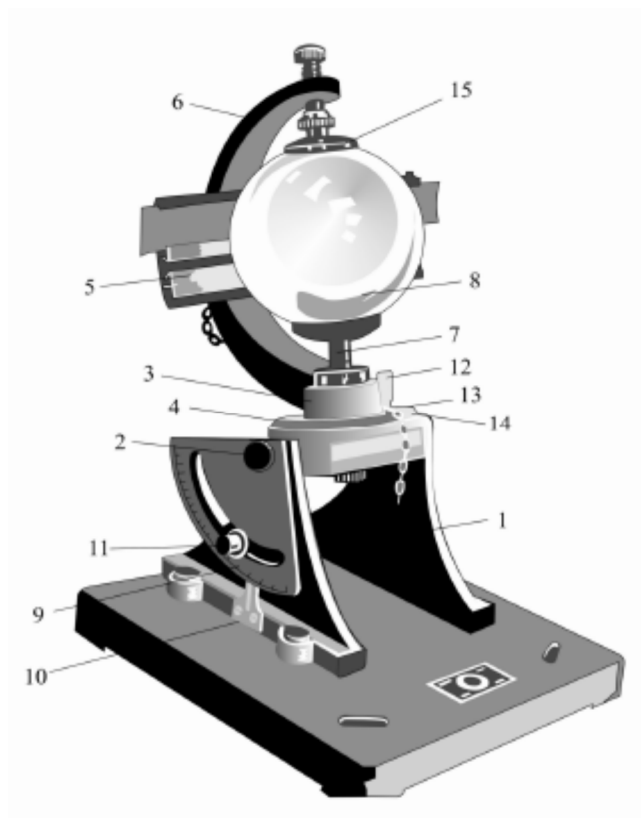


Рисунок 9.7 - Гелиограф универсальный ГУ-1

*1 — стойка, 2 — горизонтальная ось, 3 — колонка, 4 — лимб, 5 — чашка, 6 — скоба, 7 — упор, 8 — стеклянный шар, 9 — вектор, 10 — указатель широты, 11 — винт для закрепления угла наклона оси, 12 — штифт, 13 — диск, 14 — индекс на диске, 15 — верхний упор*

Для этого используется специальный штифт (12), который вставляется через отверстие лимба (4) в одно из четырех отверстий диска (13), закрепленного на оси (2). Совпадение отверстий лимба (4) и диска (13) определяется по совпадению меток *А, Б, В* и *Г* на лимбе (4) с индексом (14) на диске.

Производство измерений по гелиографу заключается в ежедневной установке лент и определении суммарного за каждый час прожога на них.

**Установка.** Гелиограф устанавливают горизонтально на открытой площадке, доступной солнечным лучам в течение всего дня, на столбе высотой не менее 2 м или на крыше здания на прочной деревянной подставке. Горизонтальность подставки проверяется уровнем.



Перед укреплением прибора на подставке его устанавливают на заданную широту (по шкале широт) и по меридиану. Для установки по широте места ослабляют винт, поворачивают верхнюю часть до совпадения заданной широты с указателем и фиксируют обратно винт. Для ориентировки по меридиану его устанавливают на середину подставки шаром на юг (положение *Б*) и поворачивают основание так, чтобы фокус пучка солнечных лучей в момент истинного полдня находился на черточке чашки или полуденной линии ленты. В таком положении основание прибора закрепляют тремя винтами.

В пазы чашки закладывают бумажные ленты (рис. 9.8) соответственно времени года: в верхнюю пару пазов – зимой (с 16 октября до конца февраля), в среднюю – весной и осенью (с 1 марта по 15 апреля и с 1 сентября – по 15 октября), в нижнюю – летом (с 16 апреля по 31 августа). В верхние и нижние пары пазов закладывают изогнутые, а в среднюю пару – прямые ленты.

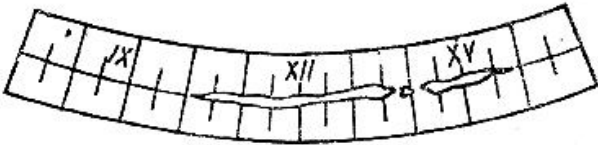
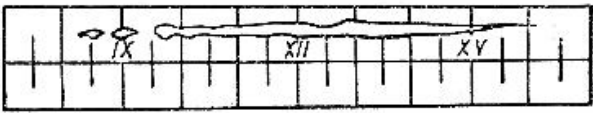

Паз	Вид ленты	Период года
Верхний		16.10—28.02
Средний		01.03—15.04 01.09—15.10
Нижний		16.04—31.08

Рисунок 9.8 – Периоды применения лент гелиографа

**Измерения.** В зависимости от времени года бумажную ленту закладывают в одну из пар пазов чашки. В короткие дни, когда солнце находится над горизонтом не более 9 ч, ленту меняют после захода солнца

один раз в сутки. Шар в этом случае всегда повернут на юг (в положение *Б*). При продолжительности дня от 9 до 18 ч ленту меняют два раза в сутки: первый раз после захода, второй – в 12 ч по среднему солнечному времени. Одновременно со сменой лент меняют положение шара. При вечерней смене лент шар поворачивают на восток (в положение *А*), а при смене в полдень – на запад (в положение *В*). Если продолжительность дня от восхода до захода солнца превышает 18 ч, смену лент и поворот шара производят три раза в сутки – в 4, 12 и 20 ч по среднему солнечному времени. При смене ленты и повороте шара в 4 ч указатель совмещают с индексом *А*, в 12 ч – с индексом *В* и в 20 ч – с индексом *Г*.

Во время смены лент шар гелиографа затевают. Ленту меняют, даже если на ней не оказывается следов прожога (пасмурные дни). На обороте каждой ленты отмечают порядковый номер (начиная с 1-го числа каждого месяца), название метеостанции, год, месяц, дату, время в часах и минутах, когда лента была установлена и вынута.

Периодически необходимо следить за правильностью установки гелиографа относительно горизонтальной плоскости, полуденной линии, широты места наблюдений и содержать шар гелиографа в чистоте. По мере надобности шар следует протирать мягкой полотняной тканью; если он покрыт изморозью или инеем, ткань надо смочить спиртом или авиационным бензином.

**Обработка лент.** Продолжительность солнечного сияния определяют по прожогу лент гелиографа за каждый час в десятых долях часа, учитывая даже слабые следы прожога, и заносят в соответствующие таблицы. Если прожог распространяется на все деление, записывают целый час, если на половину деления, записывают 0,5 ч. Суммируя продолжительность солнечного сияния за каждый час, получают суточную продолжительность солнечного сияния (табл. 9.6).

Зная количество часов солнечного сияния за отдельные дни, можно определить продолжительность солнечного сияния за любой период (декаду, месяц, вегетационный период, год).

Таблица 9.6 - Пример записи продолжительности солнечного сияния за сутки

Число, месяц	Часы по истинному солнечному времени															Сумма за сутки	
	4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16	16 – 17	17 – 18	18 – 19		19 – 20
1 VI						0,4	1,0	0,9	0,4	0,2	0,8	1,0	1,0	1,0	0,7		

В настоящее время Главной геофизической обсерваторией (ГГО), совместно с ОАО "Пеленг", разработаны актинометрические датчики нового поколения для стандартной программы наблюдений. К ним относятся актинометр "Пеленг СФ-12", пиранометр "Пеленг СФ-06", балансомер "Пеленг СФ-08", а также аналог гелиографа "Пеленг ВК-05" для автоматических измерений продолжительности солнечного сияния за интервалы от 10 минут до 24 часов.

В центральном конструкторском бюро гидрометеорологического приборостроения (ЦКБ ГМП) разработан актинометрический комплекс МФ-19 для автоматического измерения составляющих радиационного баланса [13, 14].

### **Задания:**

1. Изучить устройство термоэлектрического актинометра, установку и правила измерений. Произвести измерения актинометром и определить прямую солнечную радиацию на перпендикулярную и горизонтальную поверхности.

2. Изучить устройство термоэлектрического пиранометра, установку и правила измерений. Произвести измерения пиранометром и определить суммарную и рассеянную радиацию.

3. Изучить устройство походного термоэлектрического альбедометра, правила установки и порядок наблюдений. Произвести измерения альбедометром на двух разных участках, отличающихся по цвету, и вычислить отражательную способность подстилающих поверхностей.

4. Изучить устройство термоэлектрического балансомера. Провести измерения балансомером и вычислить радиационный баланс данной поверхности. Определить эффективное излучение поверхности почвы (по формулам Ангстрема) в ясную погоду и при облачности 8 баллов, если температура воздуха  $10^{\circ}\text{C}$ , парциальное давление водяного пара  $10,6 \text{ гПа}$ .

5. Изучить устройство гелиографа, правила установки и измерений. Обработать ленту гелиографа и определить продолжительность солнечного сияния за день (декаду, месяц).

### **Контрольные вопросы**

1. На чем основан метод определения продолжительности солнечного сияния?

2. Что называется прямой солнечной радиацией? Чем характеризуется и от чего зависит суточный и годовой ход прямой радиации?

3. Каков спектральный состав излучения Земли? Чем характеризуется радиационный баланс земной поверхности?

## **10 Дистанционные и автоматические метеорологические измерения**

С развитием цивилизации все больше возрастает значение метеорологической информации с целью прогнозирования и предотвращения неблагоприятных погодных последствий. Современные метеослужбы имеют кроме обычных метеорологических и дистанционных метеорологических станций (ДМС) автоматические метеорологические станции (АМС). Наибольшее число АМС установлено в США, Италии, Франции, Японии и Финляндии. В перспективе будет создана сеть метеостанций на базе АМС разного назначения с различной дискретностью измерений. Это глобальная стратегическая задача ВМО. Современный подход к автоматизации получения метеорологической информации - это концепция комплексного использования различных современных технических средств: АМС, МРЛ, лазеров, спутников и т.д.

Дистанционные и автоматические станции используются в помощь метеонаблюдателю.

ДМС - это установка или система, обеспечивающая метеоизмерения, формирование и распространение метеоинформации при помощи дистанционных способов измерения и управления (в необходимом объеме).

Информация от ДМС дополняется визуальными наблюдениями или данными с других измерительных средств. Причем формирование информации осуществляется с помощью наблюдателя (оператора), т.е. ДМС - это эргономическая система (система, одним из звеньев которой является человек). ДМС повышает оперативность и улучшает условия труда. Кроме того, она упрощает контроль единства измерений во времени, т.к. измерения всех метеовеличин осуществляется практически одновременно (1-2 мин.). В настоящее время в Гидрометслужбе России имеются 2 основных типа ДМС: наземная М-49 и судовая ГМ-6.

Разработка и применение ДМС в России началась в 50-х годах.

Автоматическая метеорологическая станция (АМС) - это метеорологическая информационно-измерительная система с радиосвязью или с проводными линиями связи.

Автоматическая радиометрическая метеорологическая станция (АРМС) начала применяться в России в Гидрометслужбе с начала 1930-х годов. Предназначена для сбора и передачи информации о метеообстановке по радио обычно с труднодоступных районов. Прием информации производится с помощью радиоприемника радистом (на слух или регистрирующим устройством), затем обрабатывается и передается потребителям.

АМС с проводной линией связи начали работать с 1960 г. АМС производит автоматическое измерение многих величин, оператор контролирует информацию, производит контрольные измерения, осуществляет тестирование исправности АМС. АМС производит измерения практически синхронно, в течение 1 минуты. Удаленность датчиков от центрального пульта до 10 км.

Дальнейшее совершенствование ДМС, АРМС, АМС связано с разработкой оптимальных датчиков, увеличением измеряемых метеовеличин и автоматизацией обработки полученных данных измерений.

**ДМС - М49** - предназначена для дистанционного измерения: температуры влажности воздуха, скорости и направления ветра. Состоит из измерительного пульта, датчика скорости и направления ветра, датчика температуры и влажности.

В качестве чувствительного элемента датчика температуры воздуха применяется медный терморезистор. Чувствительным элементом датчика влажности является мембрана из животной пленки. Чувствительный элемент датчика скорости ветра - восьмилопастная вертушка. в качестве блока определения скорости и направления ветра - блок анеморумбометра М-47.

**КРАМС** - комплексная радиотехническая автоматическая метеорологическая станция предназначена для автоматизации процесса измерения и формирования информации, выдаваемой АМСГ, с целью

улучшения метеорологического обеспечения авиации. КРАМС позволяет производить автоматические дистанционные измерения метеорологических величин, вручную вводить метеовеличины, не измеряемые автоматически, обрабатывать результаты измерений, автоматически формировать сводки погоды, регистрировать и передавать по каналам связи полученную информацию.

Метеорологическая информация выдаваемая КРАМС:

1. Атмосферное давление на уровне станции и приведенное к уровню моря;
2. Барическая тенденция (величина, характеристика);
3. Температура воздуха (текущая, максимальная, минимальная)
4. Точка росы
5. Влажность (относительная, абсолютная)
6. Скорость ветра (средняя за 10 мин, максимальная за 10 мин, максимальная за 3 часа);
7. Составляющая максимальной скорости ветра, перпендикулярная ВПП;
8. Направление ветра;
9. Метеорологическая дальность видимости;
10. Высота нижней границы облаков;
11. Наличие гроз в радиусе 25-30 км;
12. Наличие гололеда на ВПП;
13. Наличие тумана, дымки, метели, пыльной бури, дождя, снега, града, отдаленной грозы;
14. Погода в срок и между сроками;
15. Облачность.

Данные метеорологическая информации пунктов 13-15 вводится оператором вручную.

Датчики устанавливаются в определенных пунктах аэродрома, где необходимо произвести измерения соответствующих метеорологических характеристик.

Метеостанция КРАМС-4 с датчиками VAISALA включает:

1. Центральную систему (ЭВМ, печатающее устройство, базовое программное обеспечение);
2. Индикаторное устройство;
3. Центральную систему сбора и передачи информации;
4. Систему метеоаппаратуры;
5. Источники питания (220 В, 50 Гц).

Датчик температуры и влажности (ДТВ) воздуха предназначен для измерения температуры воздуха в диапазоне от  $-60$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  и влажности в диапазоне 30-100%. ДТВ состоит из двух блоков: психрометрического и гигрометрического. Датчик преобразует три величины: температуру воздуха (сухого термометра), температуру смоченного термометра (с помощью платиновых терморезисторов по 500 Ом) и относительную влажность с помощью пучка волос, механически связанного с ротором бесконтактного трансформатора. Платиновые термометры имеют инерцию, близкую к инерции психрометрических термометров.

В качестве датчика давления применен датчик высококомпенсирующего барометра.

Датчик параметров ветра не отличается от винтовых датчиков анеморумбометра.

В качестве датчика метеорологической дальности видимости (МДВ) применяются установки РДВ (регистратор дальности видимости)

Датчиком высоты нижней границы облаков является установка ИВО (измеритель высоты облаков) с приставкой ДВ-1М или РВО.

Измерение всех метеорологических величин производится непрерывно, время опроса - 15 с.



Автоматическая обработка и передача данных осуществляется в различных кодах (METAR, КН-01) и в других информационных сообщениях. Может отображать результаты радиолокационного зондирования при наличии соответствующих каналов связи с метеорологической радиолокационной станцией (МРЛС).

Автоматическая обработка и передача данных осуществляется в различных кодах (METAR, КН-01) и в других информационных сообщениях. Может отображать результаты радиолокационного зондирования при наличии соответствующих каналов связи с метеорологической радиолокационной станцией (МРЛС).

На метеостанциях России также применяются метеостанции АМИС-РФ, АМИИС-2000, АМИС-1, АИИС"Погода", передвижные метеорологические станции на автомобильной базе типа ПМС-70М, ПМС-72, ОПМС-69. Кроме того, существуют метеорологические комплекты (МА-6-3, МА-6-3Б, АМТ-7, АМТ-8, МК-14) и походные (десантные) метеокомплексы (КМП, ДМК-1).

Более подробные сведения о некоторых АМС приведены на сайте НПО «Тайфун» и на сайте института радарной метеорологии ИРАМ [9].

**Автоматическая информационно-измерительная система «Погода» (АИИС «Погода»)** предназначена для автоматизации измерений и обработки результатов на метеостанциях Росгидромета. Состоит из двух подсистем: информационная подсистема на базе ПК и измерительная система на основе метеодатчиков фирмы «VAISALA».

АИИС «Погода» обеспечивает:

1. Измерение основных метеовеличин;
2. Ручной ввод результатов визуальных измерений;
3. Автоматическое формирование оперативных сообщений в кодах КН-01, КН-21, КН-24, КН-19, CLIMAT;
4. Автоматическое формирование месячных выводов по результатам обработки метеоданных;

5. Ведение архивов метеоинформации (за год и более);
6. Вывод на печатное устройство результатов обработки.

АИИС «Погода» может работать в любых климатических условиях, включая Арктику. В состав системы входят: центральная система на базе ПК, коллектор датчиков, несущая мачта с кронштейном для установки датчиков, комплект датчиков, специальное программное обеспечение.

Система работает дистанционно с передачей данных по кабельной линии связи в центральную систему.

Система измеряет атмосферное давление, температуру воздуха, относительную влажность воздуха, скорость и направление ветра, высоту нижней границы облаков, метеорологическую дальность видимости, наличие осадков, количество осадков, температуру поверхности почвы, температуру почвы на глубинах.

После обработки информации за сутки выдаются средние, максимальные и минимальные значения различных метеовеличин. Точность и диапазон измерения определяется типом применяемых датчиков.

АИИС «Погода» получила широкое распространение в России и странах СНГ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии приведены основные методы и приборы, применяемые в гидрометеорологической сети России и стран СНГ. Обсуждены достаточно подробно методы и средства термометрических измерений, измерений влажности воздуха, атмосферного давления, приборы для определения скорости и направления ветра. Рассмотрены актинометрические приборы, предназначенные для определения составляющих радиационного баланса. Кроме того, даются краткие сведения и характеристики автоматических метеорологических станций и дистанционных методов измерений. В пособии дан акцент на основные, широко применяемые метеорологические приборы, поэтому новинки отечественного и зарубежного приборостроения не описаны.

В последние годы наблюдается перевооружение сети метеорологических станций, разрабатываются новые приборы и информационно-измерительные системы.

Учебно-метеорологическое пособие будет полезным для студентов метеорологов и студентов смежных специальностей при изучении основ методов и средств измерений различных характеристик природной среды.

Литературный обзор данного пособия составлен по различной справочной и учебной литературе, приведенной в списке использованных источников.

## СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

**Альbedo** — величина, характеризующая отражающую способность поверхности тела. Измеряется отношением количества отраженного поверхностью света к количеству света, падающего на него. Выражается в процентах или долях единицы. Альbedo измеряется альбедометром. Альbedo поверхности Земли зависит от географической широты, поры года, времени суток, состояния растительного покрова, водной поверхности. Альbedo влажной почвы составляет 5—10%, леса — 5—20%, травяного покрова — 20—25%, снежного покрова — 70—90%. От величины альbedo зависит радиационный баланс поверхности Земли.

**Альбедометр** — прибор для измерения альbedo. Работает на принципе интегрального шарового фотометра. Альbedo земной поверхности измеряют походным альбедометром, представляющим собой два соединенных пиранометра, приемная поверхность одного из которых повернута к земле и воспринимает рассеянный свет, второго — к небу и регистрирует падающее излучение. Используют и один пиранометр, приемная поверхность которого поворачивается то вверх, то вниз.

**Актинометр** — прибор для измерения интенсивности прямой солнечной радиации. Принцип действия основан на поглощении зачерненной поверхностью падающей радиации и превращении ее энергии в теплоту.

**Анеморумбометр** — прибор для измерения скорости и направления ветра. 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. В датчике сосредоточены чувствительные элементы и первичные преобразователи скорости и направления. В качестве чувствительного элемента используется четырехлопастной воздушный винт с горизонтальной осью вращения. Чувствительным элементом для направления ветра является

флюгарка, выполненная в виде объемного обтекаемого корпуса прибора, на котором установлен воздушный винт.

**Анемометр** — прибор для измерения скорости ветра. По конструкции приемной части различают два основных вида анемометров: а) чашечные — для измерения средней скорости ветра любого направления в пределах 1—20 м/с; б) крыльчатые — для измерения средней скорости направленного воздушного потока от 0,3 до 5 м/с. Крыльчатые анемометры применяются в основном в трубках и каналах вентиляционных систем.

**Анероид** — прибор для измерения атмосферного давления. Принцип действия анероида основан на упругой деформации приемника под влиянием изменений атмосферного давления. В качестве приемника используется металлическая анероидная коробочка с гофрированными дном и крышкой. Воздух из коробочки выкачивается почти полностью. Для того чтобы коробочка не сплющивалась давлением окружающего воздуха, сильная пружина оттягивает крышку коробочки, приводя ее в равновесие. При увеличении внешнего давления крышка будет немного вдавливаясь внутрь коробочки, при уменьшении — под действием пружины будет приподниматься вверх. При помощи системы рычагов колебания крышки коробочки усиливаются и передаются на стрелку, перемещающуюся вдоль шкалы с делениями. Весь механизм анероида помещается в металлический или пластмассовый корпус со стеклянной крышкой. К отсчетам по анероиду вводятся три поправки: шкаловая, температурная и добавочная.

**Атмосферное давление** — сила, с которой воздух давит на земную поверхность и на все находящиеся на ней предметы. Атмосферное давление измеряется барометром (анероидом), а также регистрируется барографом. Нормальное атмосферное давление на уровне моря 1013,3 гПа или 760 мм ртутного столба, с высотой атмосферное давление уменьшается (в приземном слое воздуха приблизительно на 1 гПа на каждые 8 м). Атмосферное давление является одной из важнейших метеорологических величин при прогнозировании погоды. Колебания атмосферного давления связаны с

перемещением циклонов и антициклонов. Разница в атмосферном давлении является причиной ветра.

**Атмосферные осадки** — капли воды и хрусталики льда, выпадающие из облаков или осаждающиеся из воздуха на поверхности земли и предметах.

**Барометр** — прибор для измерения атмосферного давления.

Различают ртутные барометры и anerоиды (безжидкостные). Ртутный барометр представляет собой стеклянную трубку, запаянную с одной стороны и наполненную ртутью. Открытым концом трубка опущена в сосуд, частично заполненный ртутью. Когда давление воздуха повышается, столбик ртути в трубке растет, и наоборот. Высота столбика ртути в барометре на уровне моря при среднем, или нормальном, давлении равна 760 мм.

**Барограф** — прибор для непрерывной регистрации атмосферного давления. Приемной частью барографа является система anerоидных 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. 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. Запись производится на ленте, надетой на барабан с часовым механизмом. В зависимости от скорости оборота барабана барограф может быть суточным или недельным. По записи барографа определяют барическую тенденцию.

**Ветер** — горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Происходит вследствие разности атмосферного давления. Обычно определяют направление ветра и его скорость. Для получения характеристик ветра используются различные анемометры (чашечные, индукционные), флюгер и дистанционные приборы — анеморумбометры. Направление ветра определяется по 16 румбам горизонта или в градусах азимута. Скорость ветра измеряется в метрах в секунду, километрах в час, узлах, в баллах по шкале Бофорта. Сильные ветры кратковременно достигают скорости более 20 м/с (шквал, смерч

**Видимость** — то наибольшее расстояние, с которого можно обнаружить (различить) на фоне неба вблизи горизонта абсолютно черный объект достаточно больших угловых размеров; в ночное время — расстояние, на котором при наблюдаемой прозрачности воздуха такой объект можно было бы обнаружить, если бы вместо ночи был день. В сумерки и ночью вследствие резкого уменьшения освещенности и, следовательно, быстрого возрастания порога контрастной чувствительности глаза видимость объектов утрачивается на расстояниях, значительно меньших, чем днем. Поэтому ночью метеорологическую дальность видимости определяют по точечным источникам света, т.е. по огням, удаленным от наблюдателя на такие большие расстояния, что их угловые размеры становятся меньше порога остроты зрения ( $< 1$  угловой минуты).

**Влажность воздуха** — характеристика, отражающая степень насыщения воздуха водяным паром; описывается такими величинами, как парциальное давление и давление насыщенного водяного пара, дефицит насыщения, относительная влажность воздуха, точка росы. *Парциальное давление (упругость)* водяного пара — часть атмосферного давления, создаваемая содержащимся в воздухе водяным паром, выражается в миллибарах (мб) или в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.). *Относительная влажность* — процентное отношение упругости водяного пара, находящегося в воздухе, к упругости насыщения при данной температуре. *Дефицит влажности* — разность между максимально возможной при данной температуре упругостью водяного пара (упругостью насыщения) и фактической упругостью водяного пара.

**Гигрограф** — прибор для непрерывной регистрации относительной влажности воздуха. Приемной частью волосного гигрографа является пучок обезжиренных человеческих волос, прикрепленный к раме, изменение длины которого с помощью системы рычагов передается на стрелку и на перо. Запись производится на ленте, надетой на барабан с часовым механизмом. В зависимости от скорости оборота барабана гигрограф может быть суточным или недельным.

**Дождь** — жидкие осадки в виде капель диаметром от 0,5 до 7 мм, может быть непрерывным (в течение длительного времени) и с перерывами, продолжительным и кратковременным, иногда в виде отдельных капель. Различают *ливневый дождь* — жидкие осадки, отличающиеся внезапностью начала и конца выпадения, резким изменением интенсивности даже в пределах 5—10 мин, иногда сопровождающиеся грозой, градом, шквалистым ветром.

**Дымка** — помутнение воздуха над поверхностью земли, сильно разреженный туман. Возникает в результате конденсации водяного пара с образованием мельчайших капель воды, рассеивающих свет; метеорологическая дальность видимости при дымке изменяется в довольно широких пределах — от 1 до 10 км; относительная влажность воздуха обычно не ниже 85%.

**Измерения** — методы вычисления физических свойств (параметров) географических объектов с помощью инструментальных средств.

**Изморозь** — лед, образующийся в результате замерзания капель атмосферной влаги при соприкосновении с холодными поверхностями.

**Конвекция** — перенос тепла, обусловленный изменениями плотности жидкости.

**Метеорология** — наука об атмосфере Земли, изучающая состав и строение атмосферы, погоду и климат. Главными задачами метеорологии являются: обеспечение народного хозяйства метеорологической информацией с целью наиболее полного и эффективного использования благоприятных условий погоды и уменьшения затрат от опасных явлений погоды, усовершенствование методов прогноза погоды. Различают *физику атмосферы* (физика приземного слоя воздуха, аэрология, физика верхних слоев атмосферы, актинометрия), *динамическую метеорологию* (изучает тропосферу и нижнюю стратосферу, разрабатывает численные методы прогнозов погоды), *синоптическую метеорологию*, а также раздел, изучающий климат, — *климатологию*. Существует ряд прикладных отраслей метеорологии — сельскохозяйственная, авиационная, космическая, лесная,



морская, медицинская, военная и т.д. Деятельностью метеорологических служб различных государств руководит Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Основным методом получения фактических сведений об атмосфере, погоде и климате — наблюдения, который проводятся на метеорологических станциях, а также с помощью метеорологических спутников, ракет, радиозондов и т.п.

**Морось** — жидкие осадки, состоящие из очень мелких капель, как бы парящих в воздухе. Морось выпадает только из слоистых облаков (St) или из тумана. Ее не следует путать с очень мелким дождем, падение капель которого (хотя они и очень малы) хорошо заметно для глаз. Осаждаясь на поверхность воды, морось, в отличие от дождя, не образует на ней расходящихся кругов.

**Наблюдение** — целенаправленное восприятие явлений; чувственное отражение предметов и явлений внешнего мира, позволяющее получить некоторую первичную информацию об объектах окружающей действительности.

**Облака** — продукты конденсации или сублимации водяного пара в атмосфере. Совокупность облаков называется облачностью. Облака возникают при конденсации водяного пара в атмосфере на ядрах конденсации. Диаметр капель в облаке — несколько микрон. Из облаков выпадают осадки. Возникновение облака — результат адиабатического охлаждения воздуха при его подъеме, реже — результат охлаждения от подстилающей земной поверхности и турбулентного перемешивания воздуха. Подъем воздуха, необходимый для возникновения облака, происходит при конвекции в атмосфере, при восходящем подъеме воздуха на атмосферных фронтах и т.д. Облака оказывают влияние на формирование погоды и осадков, на тепловой режим воздуха, суши и моря. Они перемещаются на тысячи километров, переносят и перераспределяют большие массы воды.

**Осадки атмосферные** — парообразная вода, перешедшая в воздухе в жидкую или твердую фазу и выпавшая на Землю.

**Осадкомер** — установка для сбора и измерения количества выпавших осадков. Состоит из дождемерного ведра, устанавливаемого на деревянном столбе внутри специальной планочной защиты от ветра, и дождемерного стакана для измерения собранного количества осадков. Зимой в дождемерном ведре скапливается снег, и измерение осадков производят после того, как снег растает. Количество осадков выражают в миллиметрах слоя воды, который образовался бы от выпадения осадков, если бы они не испарялись, не просачивались в почву и не стекали бы. Осадкомер с упрощенной защитой от ветра или без защиты называется дождемером.

**Роза ветров** — диаграмма, показывающая повторяемость направлений ветра в течение некоторого промежутка времени. При построении розы ветров рисуется круг, в котором записывается повторяемость штилей, от круга во все стороны расходятся лучи, соответствующие сторонам горизонта. Длины лучей пропорциональны повторяемости ветров по направлениям.

**Снег** — вид твердых осадков, выпадающих при отрицательной температуре воздуха, в виде снежинок, непрозрачных палочек, крупинок. При положительной температуре воздуха в переходные сезоны года, иногда зимой, может наблюдаться мокрый снег, чаще в виде хлопьев или вместе с дождем. Выпадает из слоисто-дождевых (Ns) или высоко-слоистых (As) облаков.

**Суточная амплитуда температуры** — разность между максимальной и минимальной температурой за сутки.

**Температурный режим атмосферы** — распределение температуры воздуха в пространстве и ее изменение во времени.

**Термограф** — прибор для непрерывной регистрации температуры воздуха. Приемной частью термографа, реагирующей на изменения температуры воздуха, служит изогнутая биметаллическая пластинка. Она состоит из двух металлических пластинок, обладающих различными коэффициентами расширения. Один конец биметаллической пластинки закреплен неподвижно, к другому с помощью системы рычагов присоединена стрелка, на конце которой насажено перо. Перо, прикасаясь к

ленте на вращающемся барабане, вычерчивает на ней кривую, соответствующую изменениям температуры воздуха. В зависимости от скорости вращения барабана термограф может быть суточным или недельным.

**Термометр** — прибор для измерения температуры воздуха. Жидкостные термометры основаны на принципе изменения объема жидкости при повышении или понижении температуры.

В качестве термометрической жидкости обычно применяют ртуть или спирт. В метеорологии применяются две температурные шкалы — Цельсия и Фаренгейта. На шкале Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) точка таяния льда обозначена  $0^{\circ}$ , а точка кипения воды  $100^{\circ}$ . Промежуток между ними разделен на 100 частей. На шкале Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$ ) точку таяния льда обозначают  $32^{\circ}$ , а точку кипения воды  $212^{\circ}$ . Отсчеты по всем метеорологическим термометрам проводятся с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

**Точка росы** — температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, достигает состояния насыщения.

**Туман** — скопление продуктов конденсации (капель или кристаллов), взвешенных в воздухе, непосредственно над поверхностью земли при горизонтальной видимости менее 1000 м. При положительных температурах туман состоит из капелек воды радиусом в среднем 2—5 мкм, а при отрицательных — из переохлажденных капелек воды, ледяных кристаллов или замерзших капелек. По физическим условиям образования туманы можно разделить на адвективные и радиационные. *Радиационные туманы* образуются в результате радиационного охлаждения почвы, от которой затем охлаждается прилегающий к ней воздух. *Адвективные туманы* образуются при движении теплого воздуха над холодной подстилающей поверхностью.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: 1985, Вып. 3. Ч. 1. 302 с.
3. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. 2-е изд., перераб. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 224 с.
4. Каталог-справочник: Приборы и оборудование для гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей среды. Обнинск, 2010. Ч. 1, 2.
5. Тудрий В.Д., Исмагилов Н.В. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Казань.: Казан. ун-т, 2011. 296 с.
6. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2012. 306 с.
7. Психрометрические таблицы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 270 с.
8. Атлас облаков. СПб.:, 2006.
9. Атлас облаков / Под ред. А.Х. Хриана. Л.: Гидрометеиздат, 1978.
10. Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Семенова Н.В. Радиационный баланс. Введение в проблему. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 185 с.
11. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 364 с.
12. Кондратьев К.Я. Актинометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1965.
13. Сайт НПО "Тайфун" [www.typhoon.obninsk.ru](http://www.typhoon.obninsk.ru)
14. Сайт Института радарной метеорологии ИРАМ [www.iram.ru](http://www.iram.ru)
15. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: Учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М., 2001.
16. Ходжаева Г.К. Метеорологические методы и приборы наблюдений: Учебное пособие. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. 189 с.

17. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 456 с.
18. Толмачева Н.И. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Уч. пособие. Пермь, Пермский ун-т, 2011. 223 с.
19. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л., 1974.
20. Виртуальная лаборатория. Гидрометеорологические приборы и оборудование. 2012. <http://tech.meteorf.ru/>

## Примеры лабораторных и практических работ

### Работа №1. Измерение температуры воздуха

**Используемые приборы:** термометр психрометрический (ТМ-4) , максимальный (ТМ-1), минимальный (ТМ-2), психрометр аспирационный (психрометрический термометр ТМ-6).

#### *Задание:*

1. Сделать техническое описание психрометрического, максимального, минимального термометров, аспирационного психрометра;
2. Определить температуру по психрометрическому термометру и по аспирационному психрометру в условиях лаборатории.
3. Вынести термометры на метеорологическую площадку и установить в психрометрической будке, согласно правил установки.
4. Через 20-30 минут снять показания температуры по термометрам в психрометрической будке и по аспирационному психрометру.
5. Перенести термометры и аспирационный психрометр обратно в помещение. Определить время, за которое температура по психрометрическому термометру (аспирационному психрометру) вернется к начальному значению (температура в помещении).
6. Рассчитайте амплитуду температур.
7. Сравнить температуру воздуха по психрометрическому термометру в психрометрической будке и аспирационному психрометру. Сравнить полученные значения психрометрических термометров ТМ-4, ТМ-6 с показаниями автоматической станции АИИС "Погода".
8. Результаты можно оформить с помощью таблицы.

Термометры	Тем-ра в помещении лаборатории $t_1, ^\circ\text{C}$	Тем-ра в психрометрической будке, $^\circ\text{C}$	Тем-ра в помещении лаборатории $t_2$	Амплитуда	Температура по автоматической станции
Психрометрический ТМ-4					
Максимальный ТМ-1					
Минимальный ТМ-2					
Аспирационный психрометр (психрометрический термометр ТМ-6)					

В конце работы сделать выводы.

## Работа №2. Методы и средства измерений влажности воздуха

**Используемые приборы:** психрометрические термометры (ТМ-4) , аспирационный психрометр, волосной гигрометр.

### Задания:

1. Сделать описание стационарного психрометра, аспирационного психрометра и волосного гигрометра (технические характеристики, схемы приборов);

2. С помощью аспирационного психрометра определить температуру сухого и смоченного термометра и с помощью психрометрических таблиц найти характеристики влажности. Провести два измерения: первое в помещении, второе на метеорологической станции.

3. С помощью стационарного психрометра, расположенного в психрометрической будке определить температуру сухого и смоченного термометров и с помощью психрометрических таблиц определить характеристики влажности.

4. Провести измерение влажности по волосному гигрометру.

5. Провести сравнение всех полученных результатов. Сравнить их с данными автоматической станции.

6. Результаты оформить с помощью таблицы (табл.1)

Приборы/ измерения	$t, ^\circ\text{C}$	$t', ^\circ\text{C}$	$a$	$F, \%$	$d$	Точки росы	$e$
Аспирационный психрометр (помещение)							
Аспирационный психрометр (метеостанция)							
Стационарный психрометр (метеостанция)							
Гигрометр							
Автоматическая станция							

7. Сделать выводы из работы.



### **Работа №3. Измерение атмосферного давления**

**Используемые приборы:** ртутный стационарный барометр, барометр анероид.

***Задания:***

1. Сделать техническое описание ртутного барометра и барометра анероида.
2. Снять отсчеты по ртутному барометру и одновременно по барометру анероиду. Сравнить результаты. Если давление отличается, то с помощью соответствующего винта подвести давление по барометру анероиду к давлению снятому по ртутному барометру. Предварительно сравнив полученный результат с автоматической станцией.
3. Провести сравнительные измерения по ртутному барометру, барометру анероиду и автоматической станции. Измерения проводить каждые 15 мин.
4. Сделать выводы.
5. Результаты можно оформить в виде таблицы.

## Работа №4. Измерение высоты и плотности снежного покрова

**Используемые приборы:** походный весовой снегомер.

### **Задания:**

1. Сделать техническое описание весового снегомера.
2. Вынести прибор на учебную метеорологическую площадку, перед наблюдениями дать возможность прибору принять температуру окружающего воздуха во избежание прилипания снега к цилиндру.
3. Определить место нуля прибора (взвесив пустой снегозаборник).
4. Провести забор снега. Для этого цилиндр снегомера погружают в снег концом с зубчатой насечкой. Отсчитывается высота снега по шкале на цилиндре. Очистив цилиндр от окружающего его снега лопаточкой (12), подводят ее под цилиндр, переворачивают его и подвешивают к весам. Снимают отсчет по весам. Измерения производят трижды в углах равностороннего треугольника (со стороной около 1 м).
5. Определить плотность снега. Плотность снега определяют по весу и объему пробы, причем вес взятой пробы равен  $5n$  [г], где  $n$  - число делений, отсчитанных по шкале весов, а объем составляет  $50h$  [см<sup>3</sup>], где  $h$  - высота взятой пробы. Отсюда плотность взятой пробы равна  $d = 5n/50h = n/10h$  [г/см<sup>3</sup>].
6. Вычислить высоту слоя воды, который образуется при таянии снега. Вес воды взятой пробы равен  $5n$ . В тоже время  $5n$  есть объем воды во взятой пробе (так как плотность воды равна 1 г/см<sup>3</sup>). Следовательно, если разделить объем на площадь и умножить на 10, то получим высоту слоя воды в миллиметрах.  $H = 5n10/50 = n$ . Таким образом, видно, что высота слоя воды [мм] равна числу делений  $n$ , отсчитанных по весам (при значении поперечного сечения цилиндра  $50 \text{ см}^2$  и цены деления весов 5 г)

7. Вычисления оформить в виде таблицы

Номер отсчета по снегомеру	Место нуля	Высота снега по шкале снегомера $h$	Число делений весов $n$	Плотность снега ( $\text{г/см}^3$ ) $d$	Средняя величина плотности ( $\text{г/см}^3$ ) $d_{\text{ср}}$	Запас воды в снеге (мм) $H$
1		$h_1$	$n_1$	$d_1$		
2		$h_2$	$n_2$	$d_2$		
3		$h_3$	$n_3$	$d_3$		
Сред.						

$d_{\text{ср}}$  вычисляется с точностью до 0,001, а затем округляется до 0,01.

8. Сделать выводы из работы

## Работа №5. Поверка анемометров в аэродинамической трубе

**Используемые приборы:** поверяемый анемометр Фусса, аэродинамическая труба (УПАР), секундомер.

### **Задания:**

1. Дать техническое описание анемометра (схема анемометра обязательна);

2. Устанавливают анемометр в трубе на специальной подставке.

3. Поверка анемометра производится при скоростях потока около 1, 2, 4, 9, 15 м/с, причем при каждой указанной скорости анемометр должен работать точно 3 мин. После пуска трубы необходимо ждать, пока установится в ней заданная скорость потока. Затем в течение 30 сек анемометр работает с выключенным счетным механизмом, после чего включают оборотов и одновременно с этим включают секундомер. По истечении 3-х минут счетчик оборотов выключается. Затем для каждой заданной скорости потока в трубе следует вычислить число оборотов. Поверку анемометра следует начинать со скорости близкой к начальной чувствительности прибора в пределах от 0,6 до 1,2 м/с.

4. Устанавливают скорость потока в трубе около 0,6 м/с, тщательно определяют эту скорость и отсчитывают показания по УПАР и по поверяемому анемометру.

Включают счетчики установки и анемометра и одновременно включается секундомер. Через 3 минуты останавливается секундомер, выключают счетчики, определяют скорость потока в трубе в м/с.

5. Используя переводную таблицу, и число оборотов для поверяемого анемометра в об/с на миллиметровой бумаге построить переводной график для поверяемого анемометра.

При построении графика по горизонтальной оси откладывают скорость в м/с по установке в масштабе: 1 м/с=1 см, а по вертикальной оси – число

оборотов по анемометру в масштабе: 1 деление = 1 см. На графике над кривой для целого числа делений выписывают найденные скорости, которые затем переносятся в поверочную таблицу.

6. Запись результатов следует вести по следующей форме (табл.1).

7. По точкам пересечения провести прямую и снять с графика значения м/с для анемометра или фиксированных значениях об/мин, составив переводную таблицу по форме (табл.2).

8. Сделать выводы из работы.

Таблица 1 - Запись результатов

№ опыта	Показания счетчика	Показания поверяемого анемометра	Число оборотов в сек. (установка)	Число оборотов в сек. (анемометр)	Скорость м/с (установка)
До начала отсчета	1814	4421			
После проведения измерений	2009	4593	0,97	0,95	1,1
Разность показаний	175	172			
	...	....	...и т.д.		

Таблица 2 - Переводная таблица

об/сек	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0				0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1
2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2
3	3,3	3,4	3,5	3,7	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
4	4,5	4,6	4,7	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5
6	6,7	6,8	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7
7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6
8	8,7	8,9	8,9	9,0	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6
9	9,7	9,8	9,9	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6

## Пример тестовых заданий

**1. Для чего у резервуаров вытяжных термометров находятся медные или латунные опилки**

- 1) чтобы улучшить тепловой контакт термометров с почвой
- 2) чтобы уменьшить температурную погрешность, связанную с подъемом термометров на поверхность при наблюдениях
- 3) чтобы улучшить тепловой контакт термометров и уменьшить температурную погрешность, связанную с подъемом термометров на поверхность при наблюдениях
- 4) для защиты резервуаров от возможных механических повреждений

**2. Для чего при транспортировке барометра его переносят всегда чашкой вверх**

- 1) чтобы не расколоть барометрическую трубку
- 2) в таком положении исключается попадания воздуха в барометрическую трубку
- 3) чтобы не вылилась ртуть
- 4) такое положение удобно для переноски барометра

**3. С какой стороны метеорологической площадки прирезается участок для актинометрических наблюдений**

- 1) с северной
- 2) с восточной
- 3) с южной
- 4) с западной

**4. К какому ярусу относятся облачность *Nimbo Stratus*.**

- 1) к верхнему
- 2) к среднему
- 3) к нижнему
- 4) к облакам вертикального развития

**5. Что следует понимать под дымкой**

- 1) сильно разреженный туман
- 2) помутнение атмосферы, связанное с промышленными выбросами
- 3) туман, при котором наблюдатель может видеть диск солнца или луны
- 4) туман над незамерзающим морем или озером

**6. Какая единица характеризует инерционность любого актинометрического прибора**

- 1) Ом
- 2) секунда
- 3) безразмерная величина
- 4) милливольт

**7. В какой среде один и тот же термометр быстрее приобретет температуру окружающей среды**

- 1) в неподвижной воздушной среде
- 2) в воздушном потоке
- 3) в неподвижной водной среде
- 4) в водном потоке

**8. Какие из следующих приборов не устанавливаются на метеорологической площадке**

- 1) термограф
- 2) гигрограф
- 3) барометр ртутный, барометр-анероид, барограф

**9. Какой метод положен в основу измерения плотности снега**

- 1) метод измерения высоты слоя снега
- 2) весовой метод
- 3) метод вытапливания воды из снега

**10. Какие поправки вводятся в показания гальванометра при актинометре при обработке результатов наблюдений за прямой солнечной радиацией**

- 1) поправка на место нуля гальванометра
- 2) поправка на место нуля гальванометра, шкаловая поправка
- 3) шкаловая поправка
- 4) поправка на место нуля гальванометра, шкаловая поправка и поправка на минус высоты Солнца

**11. При каких состояниях диска солнца проводят наблюдения по актинометру**

1. ☉<sup>2</sup>
2. ☉, ☉<sup>0</sup>
3. ☉<sup>2</sup>, ☉
4. П
5. ☉<sup>2</sup>, ☉, ☉<sup>0</sup>

**12. Что является чувствительным элементом у термографа**

1. Бароблок
2. Сельсин
3. Ртуть
4. Биметаллическая пластинка

**13. Какой размер метеорологической площадки, согласно наставления**

1. 20×20
2. 30×30
3. 36×36
4. 26×26

**14. При какой температуре не рекомендуется применение спиртовых термометров**

1. выше +25°
2. выше +30°
3. выше +20°



**15. На каких глубинах измеряют температуру коленчатыми термометрами Савинова**

1. 5, 10, 15, 20 см
2. 10,15, 20, 25 см
3. 20, 25, 30, 35 см

**16. Какой из перечисленных термометров имеет минимальное деление шкалы 1°C**

1. Психрометрический
2. Коленчатый Савинова
3. Вытяжной
4. Термометр шуп

**17. До какой максимальной глубины можно провести измерения с помощью термометра-шуп АМ-6**

1. 60 см
2. 50 см
3. 40 см
4. 30 см
5. 20 см

**18. С какой точностью производятся отсчеты с помощью термометров на метеорологической площадке (не зависимо от цены деления шкалы)**

1. 0,1
2. 0,2
3. 0,01
4. 1,0

**19. На какой высоте от поверхности земли производятся измерения температуры воздуха**

1. 1 м
2. 1,5
3. 2 м
4. 3 м
5. 5 м

**20. Куда необходимо ориентировать дверцу психрометрической будки, чтобы во время проведения измерений солнечные лучи не могли попасть на термометры**

1. на север
2. на юг
3. на запад
4. на восток



Учебное издание

Пряхина Софья Ивановна  
Морозова Светлана Владимировна  
Семенова Наталия Владимировна  
Короткова Надежда Владимировна

## **Методы и приборы гидрометеорологических измерений**

*Учебно-методическое пособие*

---

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Подписано в печать 12.12.2016.

Гарнитура Times. Печать Riso.

Усл. печ. л. 1,46. Тираж 300 экз. Заказ 0297.

---

Издательский центр «Наука»  
410600, Саратов; Пугачёвская, 117, к.50

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии ИП «Экспресс тиражирование»  
410005, Саратов; Пугачёвская, 161, офис 320 ☎ 27-26-93