

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФБГОУ ВПО «Саратовский государственный университет  
имени Н.Г.Чернышевского»**

**Географический факультет  
кафедра метеорологии и климатологии**

**Г. Ф. ИВАНОВА**

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ  
И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Учебное пособие для студентов  
географического факультета по направлению подготовки  
бакалавриата 05.03.06 «Экология и природопользование»**

**САРАТОВ  
2016**

**Иванова Г.Ф.**

Метеорологические приборы и методы измерений: Учебное пособие для студентов географического факультета по направлению подготовки бакалавриата 05.03.06 «Экология и природопользование».  
- Саратов, 2016. – 43 с.: ил.

В учебном пособии рассматриваются физические принципы, лежащие в основе типовых метеорологических наблюдений, основные метеорологические приборы, а также единицы измерений метеорологических величин и необходимая терминология.

В настоящем издании представлены программа и порядок метеорологических и градиентных наблюдений, дана методика расчета составляющих теплового баланса, классификация различных форм облачности и методика их оценки, а также дано описание световых явлений в облаках.

Учебное пособие предназначено студентам географического факультета по направлению «Экология и природопользования» для выполнения практических работ по курсу «Учение об атмосфере».

Работа издана в авторской редакции

Иванова Г.Ф., 2016

## Содержание

|                                                                                                      |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Введение                                                                                             | ....4  |
| <b>1. Основные метеорологические величины</b>                                                        | .....5 |
| 1.1. Понятие погоды, климата.                                                                        |        |
| О системах единиц измерений                                                                          | .....5 |
| 1.2. Единицы измерения основных метеорологических величин                                            | .....6 |
| <b>2. Принципы сетевых метеорологических измерений</b>                                               | ...10  |
| 2.1. Единство метеорологических наблюдений                                                           | ...10  |
| 2.2. Измерение температуры воздуха и почвы                                                           | ...10  |
| 2.3. Измерение влажности воздуха                                                                     | ...13  |
| 2.4. Измерение атмосферного давления                                                                 | ...18  |
| 2.5. Измерение ветра                                                                                 | ...22  |
| 2.6. Измерение осадков                                                                               | ...25  |
| <b>3. Производство наблюдений за количеством и формой облаков</b>                                    | ...28  |
| 3.1. Международная классификация облаков                                                             | ...28  |
| 3.2. Описание основных форм облаков                                                                  | ...31  |
| 3.3. Генетическая классификация облаков                                                              | ... 33 |
| 3.4. Световые явления в облаках                                                                      | ...36  |
| <b>4. Метеорологическая площадка</b>                                                                 | ...39  |
| 4.1. Устройство метеорологической площадки                                                           | ...39  |
| 4.2. Требования к содержанию метеорологической площадки                                              | ...40  |
| <b>5. Сроки и программа производства метеорологических наблюдений</b>                                | ...42  |
| 5.1. Сроки производства метеорологических наблюдений                                                 | ...42  |
| 5.2. Программа метеорологических наблюдений                                                          | ...42  |
| <b>6. Производство градиентных наблюдений</b>                                                        | ...44  |
| 6.1. Тепло – и влагообмен между деятельной поверхностью и воздухом                                   | ...44  |
| 6.2. Градиентные наблюдения над скоростью ветра                                                      | ...44  |
| 6.3. Градиентные наблюдения над температурой и влажностью воздуха                                    | ...45  |
| 6.4. Вычисление коэффициента турбулентности на высоте 1 м                                            | ...48  |
| 6.5. Определение интенсивности потока тепла при теплообмене между деятельной поверхностью и воздухом | ...48  |
| 6.6. Определение величины испарения и количества тепла, затрачиваемого на испарение                  | ...48  |
| Список использованных источников                                                                     | ...50  |

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Метеорологические приборы и методы измерений» предназначено для студентов - бакалавров, изучающих дисциплину «Учение об атмосфере», «Физика атмосферы». Пособие содержит описание конструктивных особенностей метеорологических приборов, установленных на метеорологических станциях, и методику наблюдения за погодой.

В настоящем издании представлены программа и порядок метеорологических и градиентных наблюдений, дана методика расчета составляющих теплового баланса, классификация различных форм облачности и методика их оценки, а также дано описание световых явлений в облаках.

Учебное пособие «Метеорологические приборы и методы измерений» необходимо при выполнении лабораторных работ по вышеназванным дисциплинам, а также заданий во время учебной практике по метеорологии. Настоящее пособие может быть использовано студентами как очного, так и заочного обучения.

# 1. ОСНОВНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

## 1.1. Понятие погоды, климата. О системах единиц измерений

Физическое состояние атмосферы в определенный момент или в какой-либо промежуток времени называется **п о г о д о й**. Погода может быть охарактеризована комплексом метеорологических величин, которые определяются количественно. Измеряются: давление воздуха, температура, влажность, скорость и направление ветра, облачность, осадки и другие метеорологические параметры. Регистрируются атмосферные явления, под которыми понимают физические процессы в атмосфере: гроза, туман, метель, изморось и другие.

В отличие от погоды, **к л и м а т** о м называется характерный режим погоды, свойственный той или иной территории, в зависимости от ее физико-географических условий.

С 1 января 1963 года введена Международная система единиц измерений СИ (ГОСТ 9867-61), которые приведены в таблице 1.1.

Единицы измерения всех остальных производных величин образуются на основе их определяющих уравнений из этих шести единиц (а также полученных из них производных).

Например, для скорости ветра и плотности воздуха (почвы) имеем:

$$V = \frac{l}{t} ; \quad 1_{СИ}(V) = \frac{1_m}{1_c} = 1_m / c$$
$$\rho = \frac{m}{V} ; \quad 1_{СИ}(\rho) = \frac{1_{кг}}{1_m^3} = 1_{кг} / м^3$$

Наряду с системой СИ во многих случаях удобно пользоваться и другими, прежде всего системой СГС (сантиметр, грамм-масса, секунда). Для практического удобства в метеорологии используются также внесистемные единицы, например количество осадков, измеряется в миллиметрах слоя воды, испарение в мм/час, мм/сутки.

Таблица 1.1  
Международная система единиц измерений [10]

|                                  | Основные<br>(дополнительные) | Единица<br>измерения | Сокращенное<br>обозначение |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Длина                            | Основная                     | Метр                 | М                          |
| Масса                            | Основная                     | Килограмм            | КГ                         |
| Время                            | Основная                     | Секунда              | С                          |
| Термодинамическая<br>температура | Основная                     | Кельвина             | К                          |
| Плоский угол                     | Дополнительная               | Радан                | РАД                        |

|               |                |           |      |
|---------------|----------------|-----------|------|
| Телесный угол | Дополнительная | Стерadian | СТЕР |
|---------------|----------------|-----------|------|

Надо уметь переводить значение величин из одних единиц в другие. Достаточно просто это делается для систем, основные величины которых однотипные (поэтому одинаковы и определяющие уравнения производных величин), хотя единицы их измерения различны. Такими системами, например, являются в динамике и термодинамике СИ и СГС [3,10]. В этом случае соотношения между единицами СИ и другой системы находят следующим путем:

- 1) берется определяющее уравнение величины в СИ;
- 2) все входящие в него основные величины записываются в единицах исходной (другой) системы;
- 3) далее они выражаются через единицы СИ;
- 4) производятся алгебраические действия над числовыми коэффициентами и получается результат в системе СИ.

Например, требуется найти соотношение между единицами СИ и СГС для силы. Имеем:

- 1) определяющее уравнение  $F = ma$ ;
- 2) в единицах СГС  
 $1 \text{ СГС (F)} = 1 \text{ г} \cdot 1 \text{ см/с}^2$  ;
- 3) замена г, см и с (СГС) на кг, м и с (СИ) дает  
 $1 \text{ СГС (F)} = 10^{-3} \text{ кг} \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$  ;
- 4) результат действий справа дает  
 $1 \text{ СГС (F)} = 10^{-5} \text{ СИ (F)}$ , или  
 $1 \text{ дина} = 10^{-5} \text{ Н (Ньютон)}$ .

## 1.2. Единицы измерения основных метеорологических величин

1. Д а в л е н и е в о з д у х а  $P$ . Определяется как сила (вес вышележащего столба воздуха), действующая на единицу поверхности. Определяющее уравнение  $P = F/S$ . Полагая  $F = 1 \text{ Н}$ ,  $S = 1 \text{ м}^2$ , находим:  $1 \text{ СИ (P)} = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$  [3] .

Эта единица называется Паскалем. В метеорологии на практике используется единица в 100 раз большая – гектопаскаль (гПа).

Соотношение между гПа и ранее употреблявшимися единицами миллибар (мб) и миллиметр ртутного столба (мм), а также единицей давления в системе СГС (дин/см<sup>2</sup>) следующее:

$$1 \text{ гПа} = 10^2 \text{ Па} = 1 \text{ мб} = 0,75 \text{ мм} = 10^3 \text{ дин/см}^2 .$$

2. Т е м п е р а т у р а в о з д у х а. В метеорологии применяется практическая шкала Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Градус температурной шкалы Цельсия составляет 1/100 интервала между точками таяния льда ( $0^{\circ}\text{C}$ ) и кипения воды ( $100^{\circ}\text{C}$ ). Для перехода к СИ (термодинамическая шкала Кельвина - К) используется уравнение

$$T \text{ К (СИ)} = 273,16 + t^{\circ}\text{C}$$

3. Парциальное давление водяного пара  $e$  – упругость водяного пара. Как и давление воздуха,  $e$  измеряется в гПа. По физическому смыслу это давление водяного пара, который фактически находится в воздухе [3].

4. Парциальное давление насыщенного водяного пара  $E$  [3]. Это максимально возможное при данной температуре давление водяного пара  $e$ , т.е. давление насыщения. Значение  $E$  увеличивается с увеличением температуры. Если  $e$  достигло максимума  $e_{\max}=E$ , а пар продолжает поступать, то начнется процесс его конденсации, значение  $E$  не изменится при заданной температуре.

5. Относительная влажность  $f$  – отношение фактического давления пара  $e$  к давлению насыщения над плоской поверхностью чистой воды, выраженное в процентах

$$f = \frac{e}{E} 100\%$$

6. Абсолютная влажность – масса водяного пара, содержащаяся в единице объема воздуха.

$$a = \frac{m}{V}; \quad 1СИ(a) = \frac{1кг}{1м^3} = 1кг/м^3$$

В метеорологии на практике используется единица в 1000 раз большая, т. е. количество водяного пара в граммах, содержащееся в  $1м^3$  воздуха

7. Массовая доля водяного пара  $S$  (удельная влажность) – масса водяного пара, содержащаяся в 1 кг воздуха [3,4].

$$S = \frac{\rho_{\text{пара}}}{\rho_{\text{пара}} + \rho_{\text{сухого}}} ; \quad 1СИ(S) = \frac{1кг}{1кг}$$

В метеорологии часто используется единица в 1000 раз большая т. е. масса водяного пара в граммах, содержащаяся в 1кг воздуха.

$$S(кг/кг) = 0,622 \frac{e}{P} \quad (СИ);$$

$$S(г/кг) = 622 \frac{e}{P} \quad (\text{практическая единица}).$$

8. Отношение смеси  $r$  – масса водяного пара в единице объема, отнесенная к массе сухого воздуха в этом объеме.

$$r = \frac{\rho_{\text{пара}}}{\rho_{\text{сухого воздуха}}} ; \quad 1СИ(r) = \frac{1кг}{1кг}$$

В метеорологии используется единица в 1000 раз большая, т. е. масса водяного пара в граммах, содержащаяся в каком-либо объеме, к массе сухого воздуха в том же объеме.

$$r = 622 \frac{e}{p - e} \quad (г/кг) \quad 7 \quad (\text{практическая единица}),$$

$$r = 0,622 \frac{e}{p - e} \quad (кг/кг) \quad (СИ).$$

Справедливо также:

$$S = \frac{r}{1+r} ; \quad r = \frac{S}{1-S} ; \quad S = r$$

На практике различие между  $S$  и  $r$  не делается и для численной оценки  $r$  используется формула для  $S$ .

9. Дефицит давления [3,4] (дефицит насыщения):

$$d = E - e \quad (\text{гПа}).$$

10. Точка росы  $T_d$  – температура, при которой содержащийся в воздухе пар при неизменных  $P$  и  $S$  становится насыщенным (Точка росы служит для характеристики влажности, а не термического режима).

11. Дефицит точки росы  $\Delta T_d$ :

$$\Delta T_d = T^\circ \text{C} - T_d^\circ \text{C}$$

12. Скорость и направление ветра.

Скорость ветра – векторная величина, т. е. одновременно характеризуется числовым значением модуля скорости и направлением. На практике под скоростью ветра понимают только ее числовые значения (модуль) в м/с. Направление ветра задается отдельно и определяется точкой горизонта, откуда дует ветер (рис. 1.1).

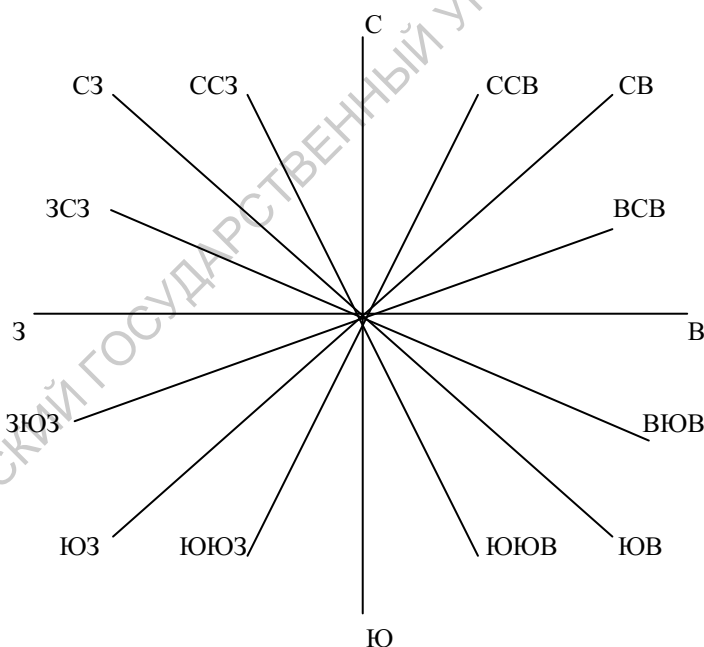


Рис. 1.1. Наименование румбов.

В таблице 1.2 приведены сокращенные обозначения 16 используемых румбов и соответствующие им границы секторов и центральных углов.

Таблица 1.2.

16 румбов с соответствующими секторами в градусах

| Румб | Сектор (град) | Центральный угол (град) | Румб | Сектор (град) | Центральный угол (град) |
|------|---------------|-------------------------|------|---------------|-------------------------|
| С    | 349 – 11      | 0 (360)                 | Ю    | 169 – 191     | 180                     |
| ССВ  | 12 – 33       | 22                      | ЮЮЗ  | 192 – 213     | 202                     |
| СВ   | 34 – 56       | 45                      | ЮЗ   | 214 – 236     | 225                     |
| ВСВ  | 57 – 78       | 68                      | ЗЮЗ  | 237 – 258     | 248                     |
| В    | 79 – 101      | 90                      | З    | 259 – 281     | 270                     |
| ВЮВ  | 102 – 123     | 113                     | ЗСЗ  | 282 – 303     | 292                     |
| ЮВ   | 124 – 146     | 135                     | СЗ   | 304 – 326     | 305                     |
| ЮЮВ  | 147 – 168     | 158                     | ССЗ  | 327 – 348     | 338                     |

Названия всех румбов образуются как комбинация названий четырех сторон горизонта: север, восток, юг и запад. Например, СВ обозначает северо-восток, ВЮВ – восток-юго-восток и т.д.

13. Атмосферные осадки. К ним относятся все виды выпадающих из атмосферы осадков как в жидком так и в твердом состоянии. Значение количества осадков определяется в миллиметрах слоя воды (мм). Скорость выпадения осадков (интенсивность) выражается в мм/мин. Обе эти единицы практические.

14. Метеорологическая дальность видимости определяется как наибольшее расстояние, на котором в светлое время суток можно различить на фоне неба черный объект угловых размеров  $0,3^\circ$  и более (более 15 угловых минут).

15. Облачность. Количество облаков на небесном своде определяется в баллах по десятибалльной шкале. Виды и разновидности облаков определяются визуально с помощью Атласа облаков [1]. Высота нижней границы облаков измеряется по высоте ориентиров или с помощью приборов.

#### Контрольные вопросы

1. Что называется погодой?
2. Какие системы единиц используются в метеорологии?
3. Какие существуют единицы измерения атмосферного давления?
4. В чем измеряется абсолютная влажность?
5. В чем измеряется направление ветра?
6. Какие румбы используются для определения направления ветра?
7. В чем измеряются атмосферные осадки?
8. Что такое метеорологическая дальность видимости?
9. За какими характеристиками облачности проводят наблюдения?

## **2. ПРИНЦИПЫ СЕТЕВЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

### **2.1. Единство метеорологических наблюдений**

На сети метеорологических станций производятся систематические измерения основных величин и качественные наблюдения за метеорологическими явлениями, представляющие собой различные физические процессы в атмосфере. Эти виды работ станций объединяются в понятие метеорологические наблюдения.

Чтобы результаты наблюдений были сравнимы между собой и могли как объективные использоваться на практике, они должны обладать единством качества. Единство качества метеорологических наблюдений достигается единством и средств и методов производства наблюдений.

Единство средств метеорологических наблюдений достигается тем, что используемое оборудование должно отвечать требованиям ГОСТов и ТУ на их производство и эксплуатацию. Все приборы периодически проверяются в бюро поверки (или на станциях), т.е. сравниваются с эталонными (образцовыми) приборами, показания которых принимаются за истинные. Результаты такого сравнения оформляются в виде поверочных свидетельств - сертификатов, которые устанавливают годность прибора к работе и содержат значение поправок, которые надо вводить к показаниям приборов (отсчетам).

Единство методов измерений обеспечивается проведением их по единой методике, изложенной в Наставлении [6], положения которого являются обязательными при производстве всех наблюдений.

В настоящее время на станциях, входящих в международную сеть, метеорологические наблюдения производятся в физически единые моменты в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 час по среднему гринвичскому времени. Эти моменты времени называются сроками метеорологических наблюдений. Более точно под сроками понимается 10-минутный интервал времени, оканчивающийся в срочный час.

### **2.2. Измерение температуры воздуха и почвы**

Измерение температуры воздуха производится на высоте 2 метра в однотипных психрометрических будках [6].

Измерение температуры почвы включает в себя измерения на оголенной поверхности почвы (снега), а также на глубинах 5, 10, 15 и 20 см (теплая половина года) и 20, 40, 80, 160, 240 и 320 см (круглый год). Программа этих наблюдений определяется для каждой станции отдельно [6].

Для измерения температуры воздуха и почвы применяются преимущественно жидкостные (ртуть, спирт) термометры, деформационные (биметалл в термографах).

Наиболее широко используются стеклянно-жидкостные ртутные и спиртовые термометры, которые применяются как для измерения температуры воздуха, так и почвы. Для измерения температуры выше  $+35^{\circ}\text{C}$  используются

ртутные (температура замерзания ртути  $-38,9^{\circ}\text{C}$ ), а ниже  $-35^{\circ}\text{C}$  – спиртовые термометры.

Основным термометром для измерения температуры воздуха является ртутный психрометрический со шкалами температур  $-35 \div +40^{\circ}\text{C}$  или  $+35 \div -55^{\circ}\text{C}$ , цена деления  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

В качестве дополнительного термометра к ртутному психрометрическому служит низкоградусный спиртовой [6] с ценой деления  $0,2^{\circ}\text{C}$  и шкалой от  $-71$  до  $+21^{\circ}\text{C}$  или от  $-81$  до  $+11^{\circ}\text{C}$ . Применять спиртовые термометры при температуре выше  $+25^{\circ}\text{C}$  не рекомендуется, т. к. спирт частично переходит в парообразное состояние (температура кипения  $+78,5^{\circ}\text{C}$ ).

Для измерения максимальных и минимальных температур применяются ртутные максимальные термометры специальной конструкции (со шкалами от  $-35$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  или от  $-20$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  и ценой деления  $-0,5^{\circ}\text{C}$ ) и спиртовые минимальные термометры (со шкалами от  $-41$  до  $+21^{\circ}\text{C}$  или от  $-75$  до  $+30^{\circ}\text{C}$  и ценой деления  $0,5^{\circ}\text{C}$ ) [6].

Регистрация максимальной и минимальной температуры за промежуток времени между наблюдениями обеспечивается за счет особой конструкции соответствующих термометров.

В максимальном термометре в самом начале капиллярной трубки, около резервуара, сделано сужение (рис.2.1). Оно достигается тем, что в капилляр входит конец стеклянного штифта, припаянного к внутренней стенке резервуара; в этом случае проход из резервуара в капилляр сужается. При повышении температуры ртуть, несмотря на сужение, под влиянием сил расширения свободно переходит из резервуара в капилляр.

При понижении температуры ртуть уменьшается в объеме. Однако силы молекулярного сцепления слабые и не в состоянии преодолеть узкую часть капилляра и переместить ртуть в резервуар. Поэтому ртуть в месте сужения прохода разрывается, а столбик ртути в капилляре остается на месте. Конец ртути, более удаленный от резервуара, показывает ту наибольшую температуру, которая наблюдалась со времени установки термометра. После отсчета максимальной температуры необходимо термометр подготовить к последующему измерению. Для этого берут его и несколько раз сильно встряхивают. Второй отсчет должен совпадать с показанием сухого термометра. Максимальный термометр устанавливается с небольшим наклоном резервуара вниз.

Минимальный термометр заполняется спиртом. Внутри капилляра находится маленький из темного стекла штифт с небольшими утолщениями на концах (рис.2.2). Минимальный термометр устанавливается в горизонтальном положении таким образом, чтобы штифт касался поверхности пленки спирта. При понижении температуры поверхностная пленка, перемещаясь, отодвигает штифт в сторону резервуара; при повышении температуры поверхностная пленка удаляется от резервуара, а штифт, свободно обтекаемый спиртом, остается на месте. Конец штифта, более удаленный от резервуара, показывает минимальную температуру, которая наблюдалась со времени установки термометра.

После отсчета термометр следует снять и наклонить его так, чтобы резервуар был выше капилляра, а штифт под влиянием своего веса начнет перемещаться; достигнув мениска, штифт остановится. Таким образом, термометр подготовлен к последующим наблюдениям.

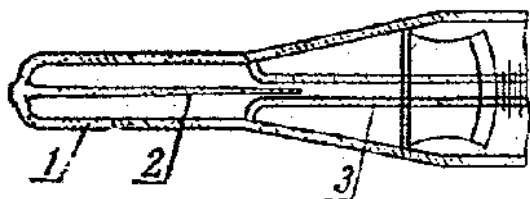


Рис. 2.1. Приспособление для сохранения максимальных показаний термометра.  
1-резервуар, 2-штифт, 3-капилляр

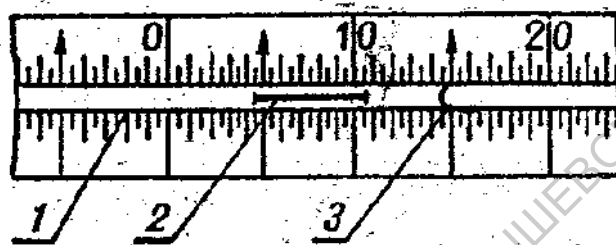


Рис.2.2. Приспособление для отсчета минимальных показаний термометра. 1-капилляр, 2-штифт, 3-мениск спирта

Для измерения температуры почвы на глубинах 5, 10, 15, 20 см используются ртутные коленчатые термометры (Савинова) со шкалой от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  с ценой деления  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Для удобства установки они изогнуты под углом  $135^{\circ}$  и имеют различную длину от 290 до 500 мм [7] за счет разной длины подшкальной части. От резервуара до начала шкалы капилляр покрыт теплоизоляционным слоем, что уменьшает влияние на показания термометра температуры слоя почвы, лежащего над его резервуаром, и обеспечивает более точное измерение температуры на глубине, где установлен резервуар.

Установка с почвенно-вытяжными термометрами ТПВ-50 предназначена для измерения температуры почвы на глубинах 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 2,4 и 3,2 м. В этих установках применяются ртутные почвенно-глубинные термометры. Это ртутные метеорологические термометры с пределами измерений от  $-20$  до  $+30$  и от  $-5$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . Цена наименьшего деления шкалы  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

Отсчет показаний всех термометров всегда производят с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ , независимо от цены деления шкалы ( $0,2$  или  $0,5^{\circ}\text{C}$ ). Линии визирования должны быть перпендикулярны шкале в месте отсчета. Это достигается таким положением глаза, при котором отметки шкалы не терпят излома (штрихи шкалы прямые).

Отсчеты делают быстро. В первую очередь отсчитывают десятые доли градуса, а затем целые. Этим стремятся исключить или уменьшить тепловое «влияние наблюдателя» на показания термометра.

Из деформационных термометров применяются биметаллические. Биметаллическая пластинка является датчиком в термографах, служащих для непрерывной записи температуры на ленте [8] (рис.2.3). Изгиб пластинки под воздействием температуры передается на перо с помощью системы рычагов. Отклонение пера будет пропорционально изменению температуры. Запись

производится специальными чернилами на ленте, установленной на барабане, вращаемым часовым механизмом с суточным или недельным оборотом. Прибор устанавливается в отдельной будке для самописцев.

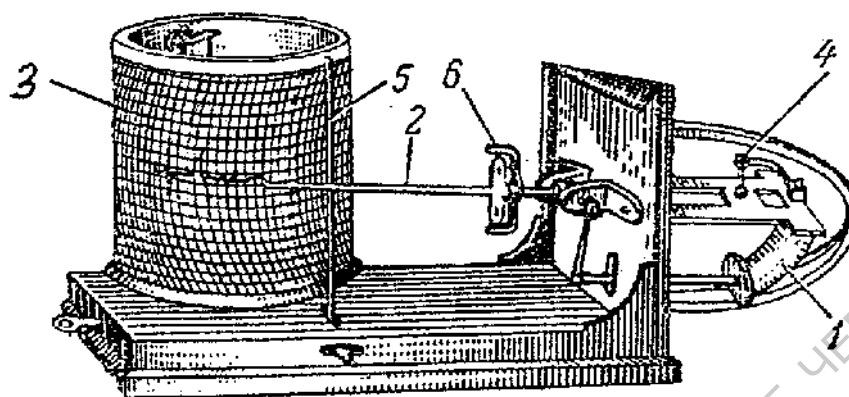


Рис. 2.3. Термограф.

1-биметаллическая пластина, 2-рычаг с пером, 3-барабан. 4-винт, 5-зажимная пружина.

Обработка записи термографа обязательно требует параллельного измерения ртутным (спиртовым) термометром значений температуры в нескольких точках записи, т.к. такая запись представляет собой только относительное изменение температуры во времени.

Все метеорологические термометры имеют поверочные свидетельства, в которых указаны величины их инструментальных поправок.

#### Лабораторное задание № 1. Измерение температуры воздуха.

1. Произвести отсчеты по термометрам (срочному, минимальному, максимальному).
2. Ввести поправки.
3. Заполнить соответствующие графы в таблице ТМ-1.

### 2.3. Измерение влажности воздуха

На станциях используются два метода измерения влажности воздуха: психрометрический метод в теплый период года и гигрометрический – в холодный.

Психрометрический метод основан на зависимости интенсивности испарения с водной поверхности от дефицита насыщения водяного пара соприкасающегося с ней воздуха. Эта зависимость выражается формулой Дальтона

$$W = C \frac{(E - e)}{\rho},$$

где  $W$  – плотность потока пара, т.е. масса испарившейся воды с единицы поверхности в 1с;

$C$  – коэффициент пропорциональности, сильно зависящий от скорости движения воздуха относительно испаряющей поверхности.

На испарение воды затрачивается тепло фазового перехода  $L$ . Оно берется от испаряющей массы, т. е. батиста термометра. Температура термометра за счет этого понижается.

Представим теперь пару термометров, резервуар одного из которых обернут батистом и смочен (смоченный термометр) – испаряющая поверхность; а другой – обыкновенный т. е. сухой. Батист смоченного термометра испаряет и за счет этого температура термометра понижается. Испарение и понижение температуры будут тем больше, чем больше дефицит насыщения пара при прочих равных условиях. Если процесс испарения установившийся (стационарный), то это дает возможность получить решение уравнения Дальтона в виде [8]:

$$e = E - A(t - t'), \quad (2.2)$$

где  $A = \frac{B}{CL}$  психрометрический коэффициент

$B$  – коэффициент внешнего теплообмена;

$t$  - температура сухого термометра;

$t'$  - температура смоченного термометра.

Определив, таким образом, одну характеристику влажности – давление пара  $e$ , по формулам раздела 1.2 можно найти и все остальные.

Приборы, которые измеряют влажность психрометрическим методом, называются психрометрами. Нашли применение два их типа: стационарный психрометр без принудительного обдува и аспирационный психрометр, в котором применяется обдув резервуара смоченного термометра с постоянной скоростью. В этом преимущество аспирационного психрометра, т.к. коэффициент  $A$  определяется более надежно. Кроме того, аспирационный психрометр устроен так, что позволяет производить измерения при самых различных погодных условиях без какой либо дополнительной защиты от Солнца и ветра, т.е. может использоваться в походных условиях. Общим недостатком всех психрометров является ограниченное их применение при температуре ниже  $-5 \div -10^\circ \text{C}$ . При более низких температурах влагонасыщенность воздуха становится очень малой, в результате чего даже незначительные неточности в отсчетах по термометрам приводят к значительным погрешностям при расчете самих значений влажности.

Стационарный психрометр [6,8] (рис. 2.4) представляет собой пару ртутных психрометрических термометров, помещенных в метеорологическую будку на специальном штативе. Резервуар правого термометра обвязан батистом, конец которого погружен в стаканчик с дистиллированной водой (смоченный термометр).

Левый термометр – сухой. Будка имеет стенки в виде двойных жалюзи, что даже при сильных ветрах не приводит к значительному повышению скорости внутри будки, но в то же время имеет место хороший воздухообмен внутри.

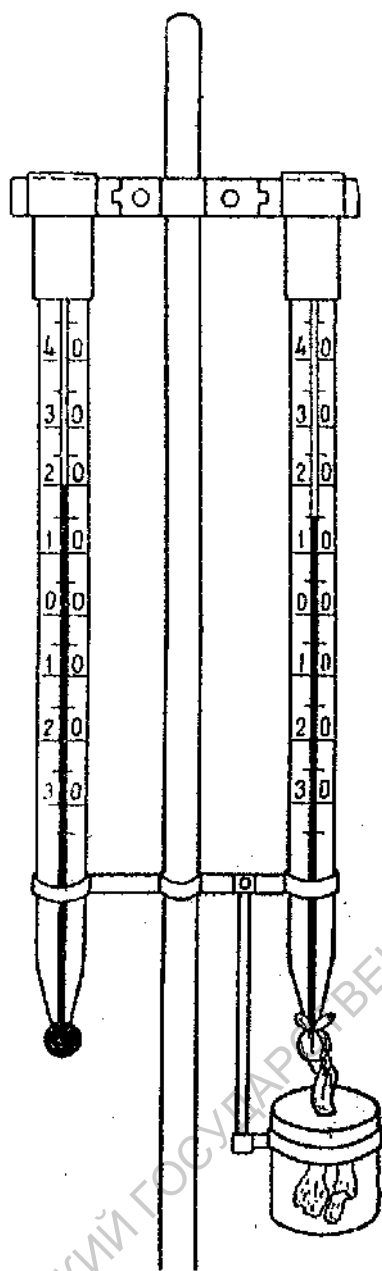


Рис. 2.4 Психрометр  
станционный.

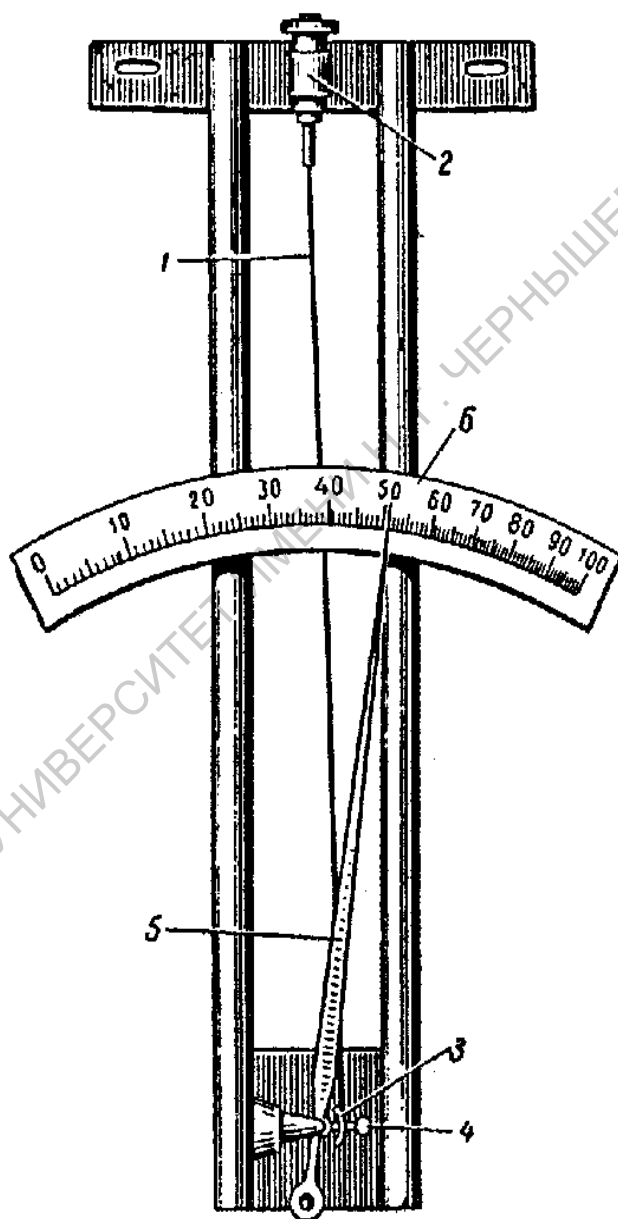


Рис. 2.5 Гигрометр.  
1-обезжиренный волос,  
2-регулирующий винт, 3-дужка,  
4-рычажок, 5-стрелка, 6-шкала.

Психрометрический коэффициент для стационарных психрометров принят постоянным и равным  $A = 7,947 \cdot 10^{-4}$ , что соответствует скорости обдува  $\approx 0,8$  м/с. Принятие  $A = \text{const}$  есть основной недостаток, поскольку скорость

обдува в будке будет в каждом конкретном случае различной (в зависимости от скорости ветра вне будки).

Аспирационный психрометр [8]. (рис. 2.6) Аспирационное устройство этого психрометра обеспечивает обдув резервуара термометра с постоянной скоростью 2 м/с. Кроме того сами термометры защищены от Солнца. Это делает прибор самым надежным при определении температуры и влажности воздуха. Порядок измерения по психрометру изложен в [8].

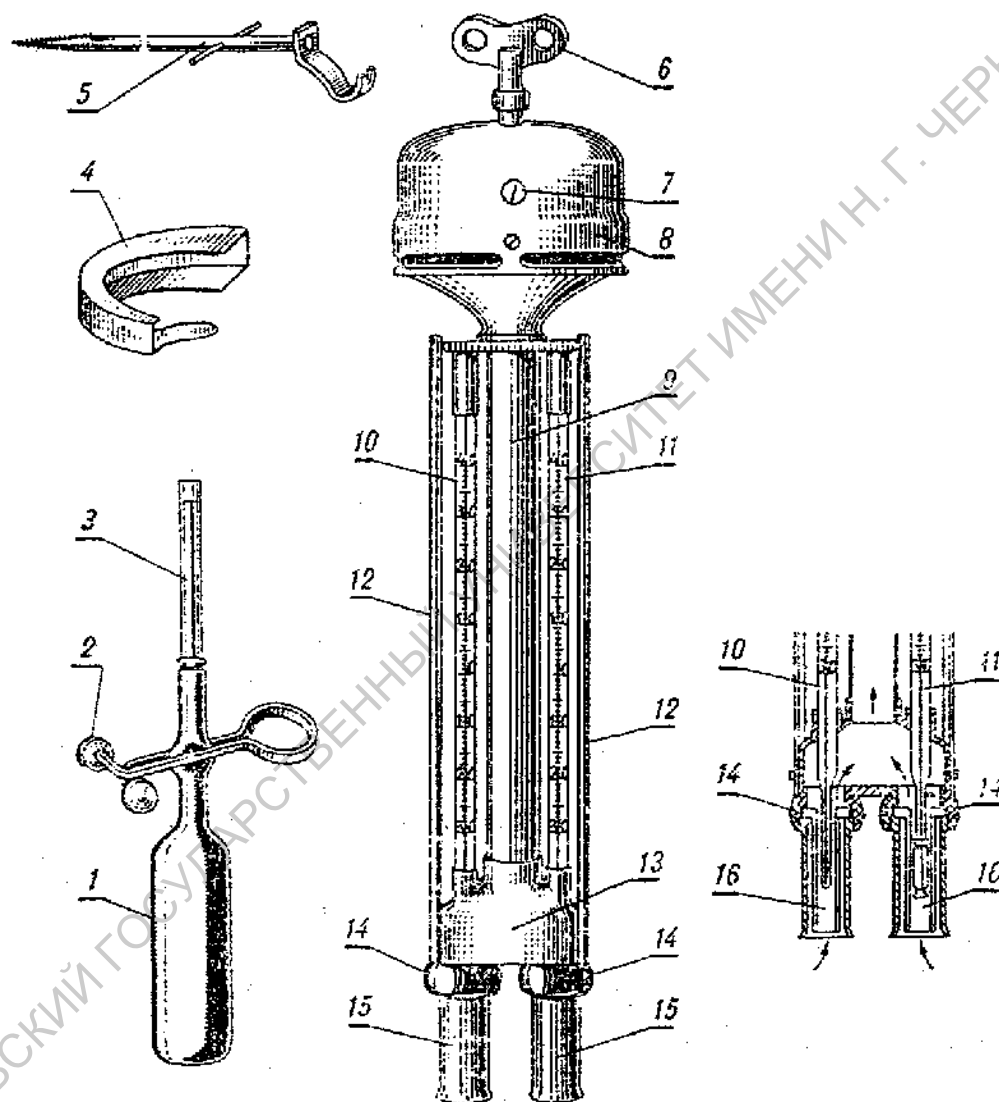


Рис. 2.6 Аспирационный психрометр МВ-4М.

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

Гигрометрический метод («гигро» – влажный) основан на свойстве некоторых тел менять свои линейные размеры (деформироваться) при изменении содержания в воздухе водяных паров. Такими свойствами, например, обладает обезжиренный человеческий волос и различные органические пленки. Так, при изменении влажности от 0 до 100% удлинение волоса  $\Delta \ell$  составляет около 2,5 % от его длины  $\ell$ . Это и положено в основу работы гигрометров и гигрографов. В гигрометрах деформация волоса или пленки с помощью системы рычагов передается на стрелочный указатель, а в гигрографах - на перо, с помощью которого производится запись на ленте на вращающемся барабане.

Все приборы этого типа относительные. Хотя их шкалы и отградуированы в значениях относительной влажности, в отсчеты по приборам надо вводить специальные поправки, полученные по результатам параллельных наблюдений по стационарному психрометру.

Волосной гигрометр [6] (рис.2.5) в зимнее время при температурах - 10° С и ниже является основным прибором, т.к. более точный в иных условиях психрометр не может работать при низких температурах. Переводной график гигрометра строится заранее путем параллельных наблюдений в течение 1 – 1,5 месяца по психрометру и гигрометру до наступления устойчивых морозов. Отсчеты относительной влажности, снятые с гигрометра, переводятся в исправленные значения по переводному графику.

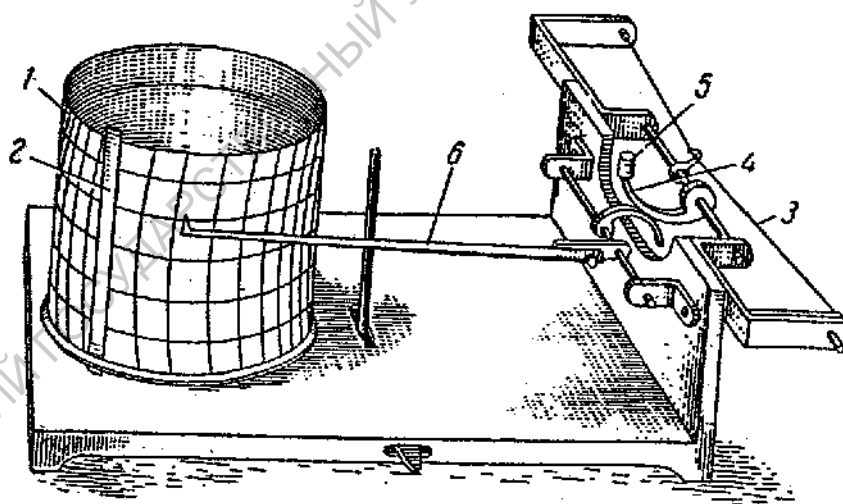


Рис. 2.7. Гигрограф.

1-барабан, 2-полосовая пружина, 3-пучок волос,  
4-рычажок, 5-грузик, 6-рычаг со стрелкой.

Г и г р о г р а ф ы [6,8] (рис. 2.7) выпускаются как волосные, так и пленочные. Оборот барабана, как и у термографа, суточный и недельный. Значения относительной влажности, снятые с ленты, переводятся в исправленные значения по переводному графику, полученному аналогично графику гигрометра.

#### Лабораторное задание № 2. Измерение влажности воздуха.

4. Произвести отсчеты по психрометрическим термометрам (сухому и смоченному).
5. Ввести поправки.
6. Заполнить соответствующие графы в таблице ТМ-1.

### 2.4. Измерение атмосферного давления

Если стеклянную трубку длиной 90 см, запаянную с одного конца, заполнить ртутью, затем прикрыть ее отверстие, опрокинуть и опустить незапаянным концом в чашку с ртутью, то после открытия отверстия трубки из нее выльется только часть ртути. Оставшийся столб ртути высотой  $H$  будет определяться атмосферным давлением  $P_a$ , т.е. давление внутри трубки  $P$  уравнивает атмосферное давление  $P_a$ :  $P = P_a$  или  $H_{pg} = P_a$ .

Таким образом, измеряя  $H$  при известных  $\rho$  и  $g$ , определяют атмосферное давление в данной точке. Так как  $g$  зависит от высоты и широты места, (но постоянна для каждой фиксированной точки), а  $\rho$  - плотность ртути зависит от температуры, то очевидно, что в отсчеты  $H$  надо вводить поправки на температуру, высоту и широту, а также инструментальную поправку.

Таким образом, если барометр находится в одной точке (станция), то к его показаниям вводятся три поправки:

- 1) на приведение показаний барометра к  $0^\circ \text{C}$  – температурная поправка;
- 2) инструментальная поправка;
- 3) поправка для приведения показаний барометра к нормальному ускорению силы тяжести ( $g = 980,665 \text{ см/с}^2$ ) (на высоту и широту).

Поправки 2) и 3) объединяют в одну постоянную поправку. Если давление измеряется в различных точках, то необходимо вводить все поправки отдельно.

Такая ситуация возникает, например, при маршрутных измерениях, на движущихся судах и др.

Станционный чашечный барометр [6] (рис.2.8.).

Трубка барометра имеет длину около 800 мм и внутренний диаметр 7,2 мм. Шкала компенсационная, что позволяет автоматически учитывать непостоянство высоты ртути в чашке, т.е. положение нуля отсчета. Для введения температурной поправки барометр снабжен «термометром при барометре». Для обеспечения точности отсчета (0,1 гПа) имеется нониус (рис.2.9). чтобы справа и слева от мениска были видны треугольные просветы.

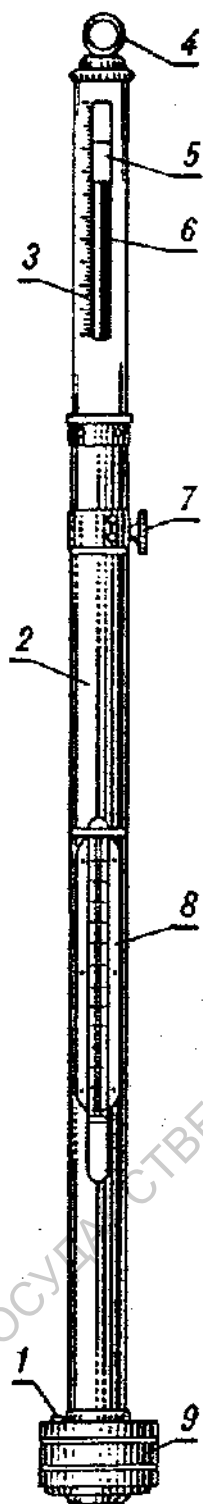


Рис. 2.8. Барометр чашечный  
станционный  
1-винт, 2- оправа, 3- шкала,  
4- кольцо, 5- нониус, 6- трубка,  
7- кремальера, 8- термометр,  
9- чашка.

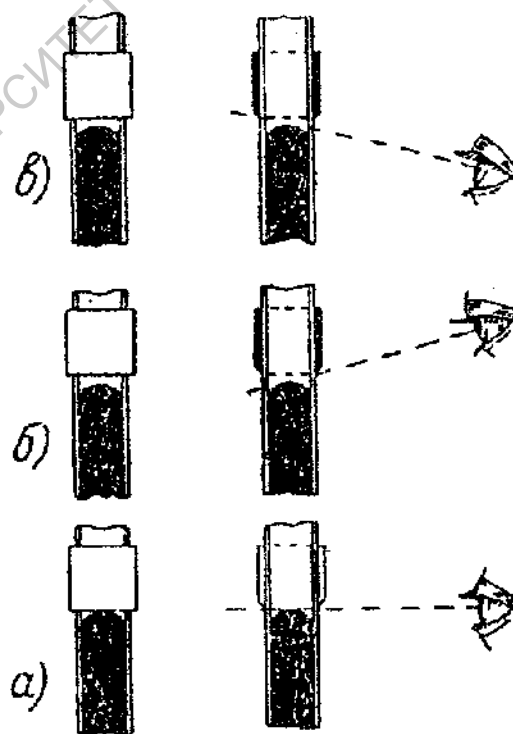
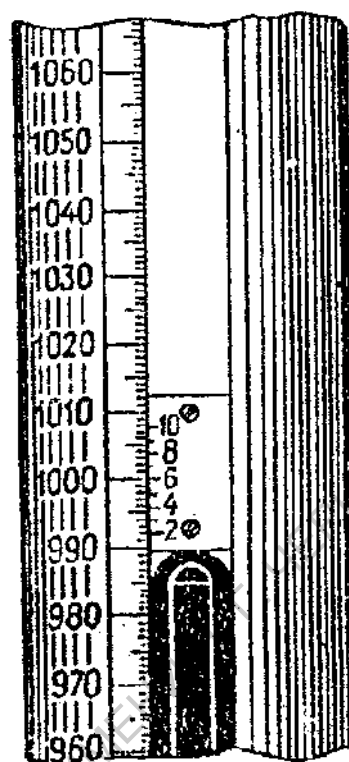


Рис. 2.9. Нониус станционного  
чашечного барометра.  
Различное положение глаза при  
отсчете по барометру:  
а)- правильное;  
б) и в)- неправильное

Барометр на станции помещается строго вертикально в специальном шкафчике с подсветом шкалы. При отсчете линия визирования должна приходиться на нижний срез шкалы нониуса, который совмещается с задней его стенкой и одновременно подводится к верхней части мениска ртути. Перед отсчетом необходимо слегка постучать по стеклянной трубке барометра, чтобы справа и слева от мениска были видны треугольные просветы.

Непосредственно под нулевым делением нониуса на основной шкале находится искомое целое число мб; номер деления нониуса, совпадающего с делением основной шкалы, показывает число десятых долей мб. (1 мб=1 гПа).

Поправки к барометру вводятся по заранее рассчитанным таблицам с учетом результатов его систематической проверки.

**Б а р о г р а ф** (рис. 2.10). Для непрерывной записи атмосферного давления используется суточный (реже недельный) барограф. Чувствительным элементом в нем служит блок мембранных барокоробок, смещение оси которых, вследствие колебания давления, передается системой рычагов на перо. Прибор является относительным, поэтому для обработки барограмм, как у термографа и гигрографа, необходимо параллельное измерение давления абсолютным прибором (барометром). В основном на станциях по виду записи барографа определяется характеристика барометрической тенденции, т. е. абсолютной величины разности  $\Delta P = P_i - P_{i-1}$  и вид этого участка барограммы.

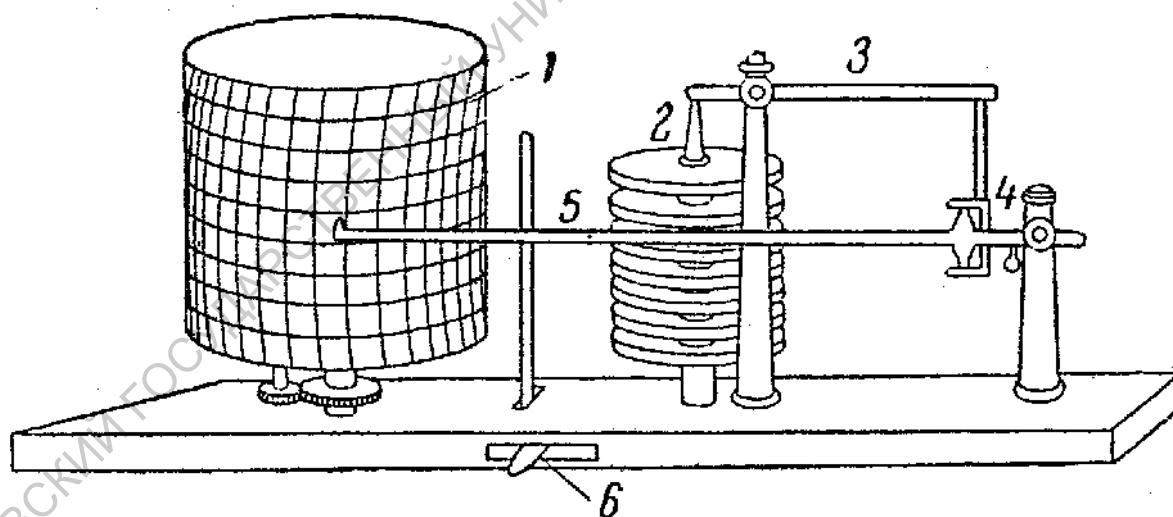


Рис. 2.10. Барограф метеорологический.

1-барабан, 2-анероидные коробки,  
3-кронштейн, 4-рычаг, 5-рычаг с пером.

Барометр - анероид (рис. 2.11). На метеорологических станциях для измерения давления анероиды не используются, однако их применяют, например, в экспедициях, на постах и т.д.

Принцип действия барометра-анероида основан на деформации металлических анероидных коробок (внутри которых воздух разрежен) под действием давления. Линейные изменения толщины коробок преобразуются передаточным рычажным механизмом в угловые перемещения стрелки барометра-анероида относительно шкалы. Шкала градуирована в паскалях. Цена одного деления 100 Па или 1 гПа.

Для измерения температуры прибора в прорези шкалы прикреплен дугообразный ртутный термометр. Цена деления его шкалы  $1^{\circ}\text{C}$ .

Рабочее положение барометра-анероида – горизонтальное. Футляр, в котором находится анероид, предохраняет его от резких колебаний температуры и открывается только на время измерений. В показания анероида вводят три поправки: шкаловую, температурную и добавочную, которые даются в поверочном свидетельстве к каждому прибору.

Шкаловая поправка учитывает инструментальную неточность работы самого прибора, поэтому на различных участках шкалы она может быть разной. В поверочном свидетельстве шкаловые поправки приводятся через каждые 1000 Па. Для промежуточных показаний поправку определяют путем интерполяции двух соседних поправок.

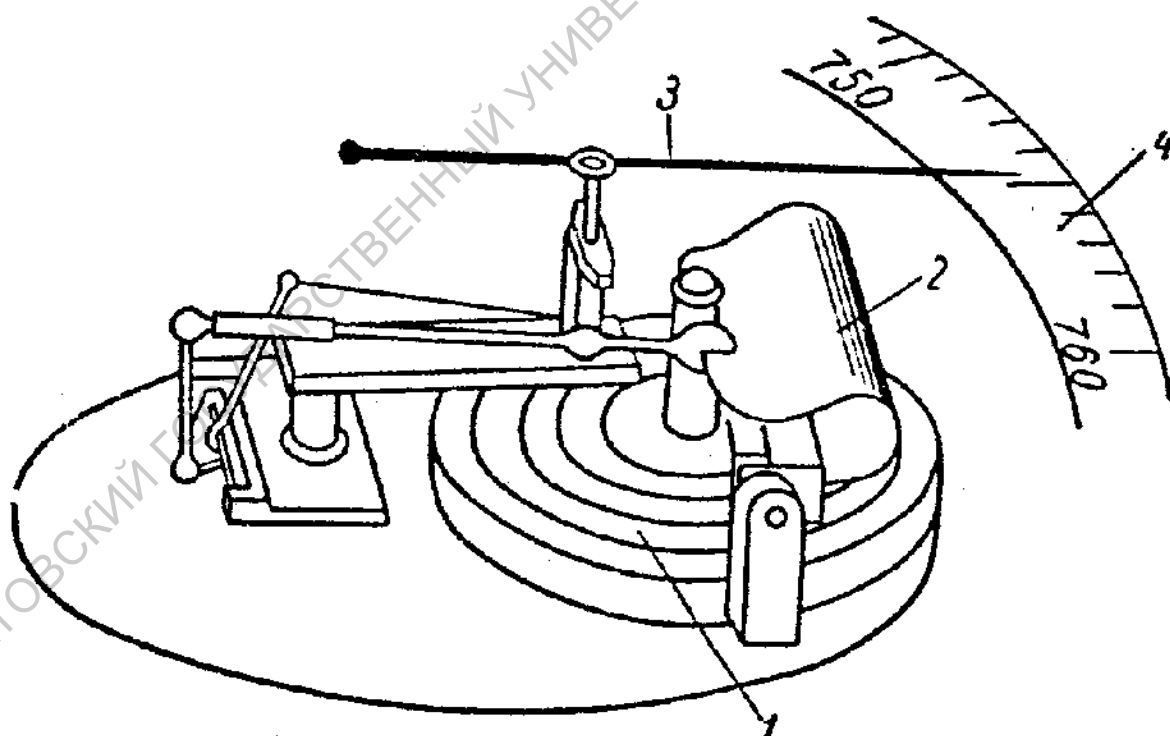


Рис. 2.11. Барометр-анероид.  
1-металлическая коробка,  
2-полосовая пружина, 3-стрелка, 4-шкала.

Температурная поправка учитывает влияние температуры. При одинаковом давлении, но разной температуре прибора, показания анероида могут быть разными, т.к. с изменением температуры упругость анероидных коробок не остается постоянной. Чтобы исключить влияние температуры, показания анероида приводятся к  $0^{\circ}\text{C}$ . Для этой цели дается температурный коэффициент  $k$  на  $1^{\circ}\text{C}$ . Для получения температурной поправки его надо умножить на температуру прибора:  $\Delta t = kt$ .

Добавочная поправка учитывает остаточную деформацию (гистерезис) коробок. Эта поправка меняется во времени.

Барометр-анероид поверяется не реже одного раза в 6 месяцев.

Правила измерения и вычисления давления по барометру-анероиду:

1. Открыть футляр, отсчитать показания термометра при анероиде с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$

2. Слегка постучать по стеклу анероида для преодоления трения в передаточном рычажном механизме.

3. Отсчитать положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1 деления шкалы (10 Па).

4. Найти по поверочному свидетельству шкаловую, температурную и добавочные поправки с соответствующим знаком + или - .

5. Поправки суммировать алгебраически, ввести в результат отсчета и записать исправленные показания в Па и гПа.

Примечание: 1.  $1\text{ Па} = 1\text{ Н/м}^2 = 0,01\text{ гПа}$

2. Соотношение между гПа, мб, и мм следующее:

$1\text{ гПа} = 1\text{ мб} = 0,75\text{ мм рт. ст.};$

$1\text{ мм рт. ст.} = 1,33\text{ мб} = 1,33\text{ гПа}.$

6. Результаты наблюдений по анероиду записать в таблицу.

### Лабораторное задание № 3. Измерение атмосферного давления

1. Произвести отсчет по стационарному чашечному барометру.
2. Ввести поправки.
3. Произвести отсчет по барометру-анероиду.
4. Ввести поправки.
5. Заполнить соответствующие графы в таблице ТМ-1.

## 2.5. Измерение ветра

Как было отмечено выше, хотя скорость ветра является векторной величиной, в практике метеорологических наблюдений под скоростью понимается значение ее модуля. Скорость и направление измеряются двумя различными датчиками, которые обычно конструктивно оформлены в один ветроизмерительный прибор. Измерению подлежат средняя за 2 или 10 минут скорость ветра (зависит от типа прибора) и мгновенная скорость с осреднением 2-5 с. Направление ветра также усредняется за интервал около 2 минут. Осреднение мгновенной скорости за интервал 2-5 секунд достигается

автоматическим датчиком ветроизмерительных приборов, коэффициент инерции которых лежит в этих пределах. Максимальное значение мгновенной скорости за какой-либо промежуток времени называется порывом.

В основу работы большинства приборов, измеряющих скорость и направление ветра, положено действие динамического давления, оказываемого воздушным потоком на расположенную в нем твердую поверхность подвижной приемной части прибора.

Приемниками скорости ветра или п е р в и ч н ы м и п р е о б р а з о в а т е л я м и являются чашечные вертушки или винты с лопастями.

Для измерения направления ветра используются флюгарки, которые представляют собой ассиметричную (относительно вертикальной оси) систему из пластин и противовесов, свободно вращающуюся относительно вертикальной оси. Под действием ветра флюгарка устанавливается в плоскости ветра противовесом навстречу ему. Формы флюгарки разнообразны, но большинство имеет две лопасти (пластины) под углом друг к другу, что создает им устойчивость в воздушном потоке и повышает чувствительность.

Принцип действия существующих преобразователей скорости ветра достаточно разнообразен. Широко применяются приборы, основанные на принципе преобразования скорости ветра в механическое перемещение чувствительного элемента. Различают три вида этих элементов: чашечные вертушки, свободно подвешенная пластина и воздушный винт.

Ф л ю г е р В и л ь д а [6] (рис.2.12). Это простейший прибор, указателем скорости ветра которого является свободно подвешенная прямоугольная пластина, а указателем направления флюгарка.

Флюгер имеет две модификации – флюгер с легкой (200 г) и тяжелой (800 г) доской. Легкая доска обеспечивает измерение скорости до 20 м/с, а тяжелая до 40 м/с. Положение доски определяется номером штифтов, расположенных по дуге смещения доски. Переводная градуировочная таблица приведена в Наставлении [6].

Для измерения направления используется, ориентированная по направлению ветра флюгарка, положение которой определяется по горизонтальным штифтам, совпадающими с восемью основными румбами. Для этой цели флюгарка при установке флюгера ориентируется по сторонам света.

При измерении скорости ветра наблюдатель должен отойти от столба в направлении, перпендикулярном положению флюгарки, и в продолжении двух минут наблюдать за положением доски, и отметить среднее положение за это время (номер штифта). Оно и будет соответствовать средней за 2 минуты скорости ветра.

Для измерения среднего направления ветра наблюдатель должен, встав около мачты под указателем направления, отметить среднее положение колебаний флюгарки за 2 минуты, определив глазомерно румб.

А н е м о р у м б о м е т р М-63 [6] служит для измерения средних за 10 минут скоростей ветра, мгновенных значений скорости и направления, а также максимальной за любой промежуток скорости. Прибор является дистанционным электромеханическим устройством довольно сложной

конструкции. В датчике, установленном на мачте, сосредоточены чувствительные элементы и первичные преобразователи скорости и направления ветра. В качестве чувствительного элемента скорости ветра используется четырехлопастной воздушный винт, а направления – флюгарка с хвостовым оперением. Принцип действия М-63 основан на преобразовании измеряемых характеристик скорости и направления ветра в электрические величины, которые передаются по соединительному кабелю на измерительный пульт. На передней панели пульта выведены стрелочные указатели средней и мгновенной скорости ветра, направления ветра и ручки управления.

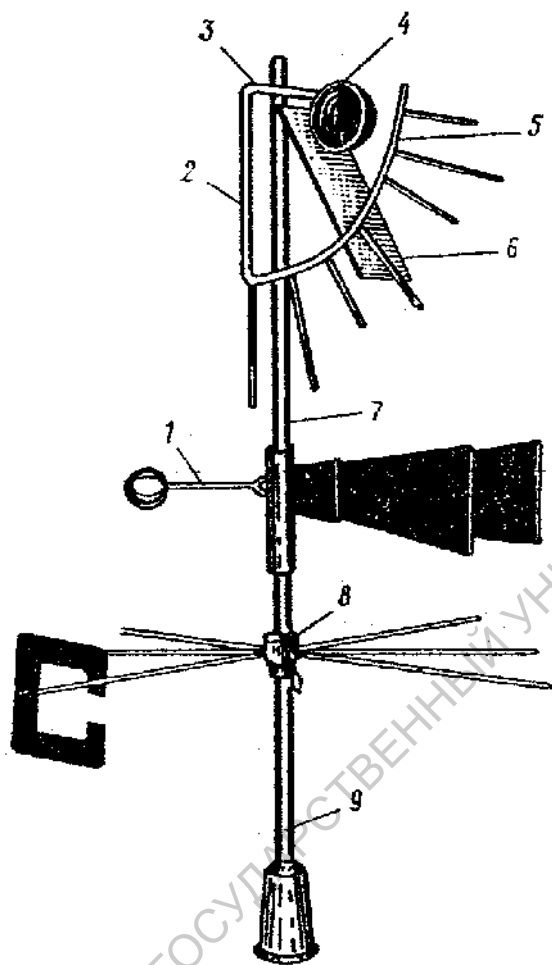


Рис. 2.12 Флюгер стационарный.  
1-флюгарка с противовесом, 2-  
рамка, 3-горизонтальная ось, 4-  
противовес, 5-дуга со штифтами,  
6-доска, 7-трубка, 8-муфта со  
штифтами направления, 9-  
вертикальная ось.

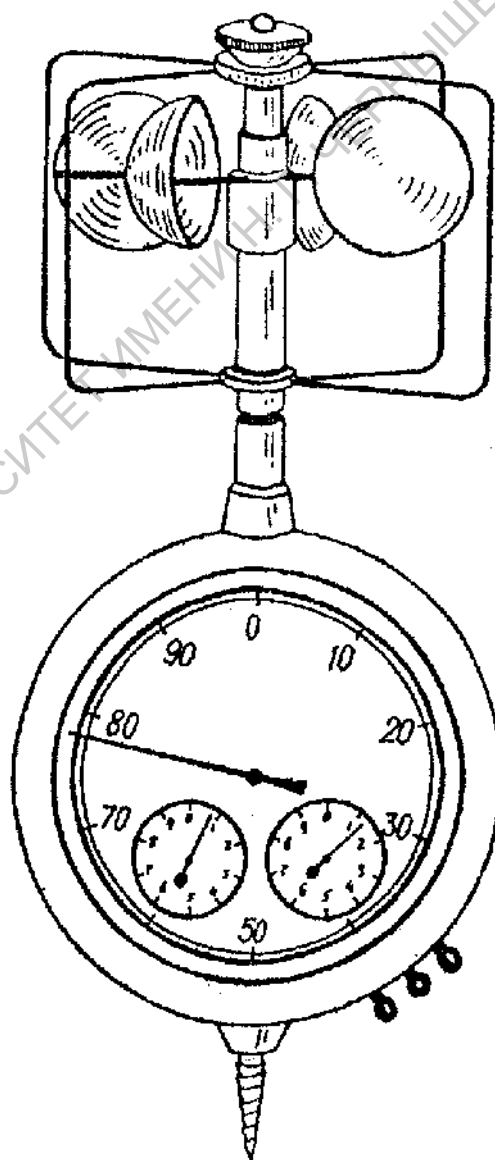


Рис. 2.13 Анемометр

Последовательность наблюдений по прибору изложена в Наставлении [5]. Прибор требует электропитания, осуществляемого от аккумуляторной батареи или от сети через специальный блок питания.

Анемометр ручной МС-13 [8] (рис.2.13). Это один из простых и точных приборов для измерения скорости ветра в диапазоне от 1 до 20 м/с. Обычно используется интервал осреднения от 1 до 10 минут. Чувствительными элементами датчика скорости является вертушка с четырьмя полусферическими чашками. Вращение вертушки передается на счетный механизм с тремя шкалами (тысячи, сотни, десятки и единицы оборотов). Включаться и выключаться прибор может дистанционно с расстояния до 10 метров с помощью шнура – тяги. Прибор исключительно удобен в полевых условиях, используется он также при градиентных измерениях.

Для измерения скорости отсчитывают начальные показания стрелки прибора, затем одновременно включают секундомер и сам прибор и делают конечный отсчет. Разность отсчетов  $\Delta n$  делится на разность времени  $\Delta t$  в секундах и находится число оборотов в секунду. По этой величине с тарированного графика снимается скорость ветра

Возможна также непрерывная регистрация хода средних скоростей. Для этого через заданные промежутки времени делаются отсчеты без выключения прибора. При этом надо сначала отсчитывать единицы, затем сотни и потом тысячи.

#### **Лабораторное задание № 4. Измерение скорости и направления ветра.**

2. Произвести измерения скорости и направления ветра по флюгеру Вильда.
3. Ввести поправки.
4. Произвести измерения скорости ветра с использованием анемометра ручного.
5. Ввести поправки.
6. Заполнить соответствующие графы в таблице ТМ-1.

### **2.6. Измерение осадков.**

Атмосферные осадки в зависимости от их фазового состояния разделяются на следующие группы:

- 1) ж и д к и е - дождь и роса;
- 2) т в е р д ы е - снег, град, крупа, иней и гололед;
- 3) с м е ш а н н ы е - одновременно из первой и второй группы.

Количество осадков измеряется с точностью до 0,1 мм высоты слоя воды (если осадки твердые, то их растаивают в теплом помещении). Вид осадков определяется визуально.

Осадкомер Третьякова [6] применяется для измерения жидких и твердых осадков (рис. 2.14). Он состоит из двух специальных сменных ведер, с калиброванным сечением отверстия 200 см<sup>2</sup> высотой 40 см и планочной защиты от ветра. Осадкомер устанавливается на столбе так, чтобы верхний срез ведра был расположен на высоте 2 м.

Измерение количества осадков производится два раза в сутки независимо от того, выпадали осадки или нет. Затем вычисляется сумма осадков за сутки.

Измерение состоит в том, что наблюдатель берет второе пустое ведро на станции и заменяет им стоящее на установке. Зарыв его крышкой, он приносит ведро осадкомера в помещение и измеряет количество осадков с помощью мерного стакана. Цена деления мерного стакана  $2 \text{ см}^3$ . Поэтому одно деление стакана соответствует 0,1 мм осадков ( $2 \text{ см}^3 / 200 \text{ см}^2 = 0,01 \text{ см}$ ). Стакан имеет сто делений.

К результатам измерений вводят небольшие поправки на смачивание ведра и частичное испарение осадков:

- жидкие осадки до 0,5 деления – поправка + 0,1 мм;
- жидкие осадки 0,5 деления и более – поправка + 0,2 мм;
- твердые осадки до 0,5 деления – поправка 0,0 мм;

твердые осадки 0,5 деления и более – поправка + 0,1 мм

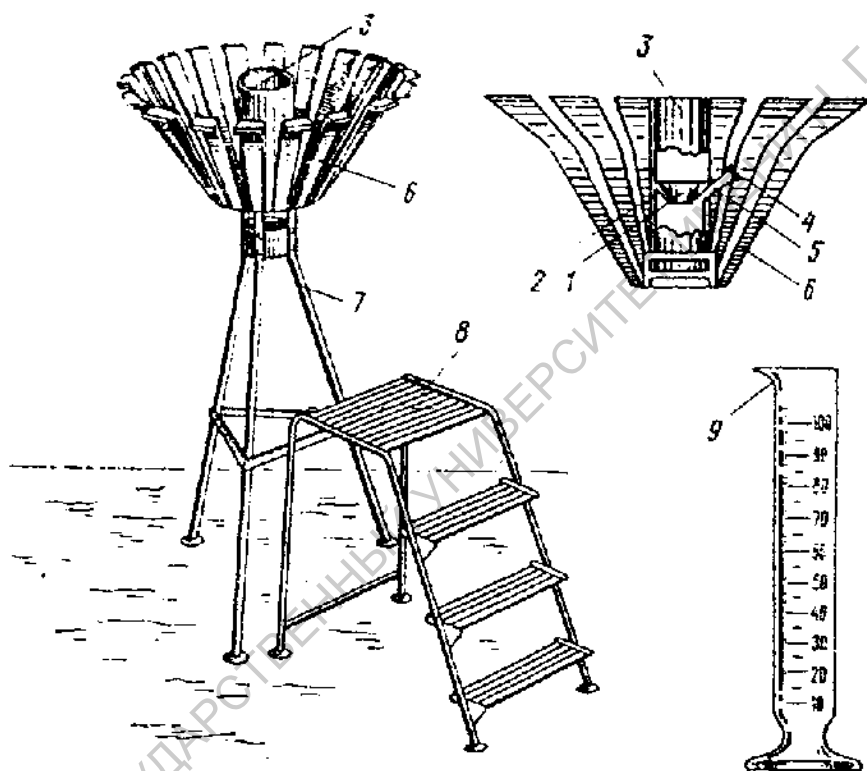


Рис. 2.14. Осадкомер Третьякова.

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

На ряде станций производится регистрация количества и скорости выпадения (интенсивности) жидких осадков с помощью плювиографа [6].

Плювиограф предназначен для непрерывной регистрации жидких осадков, что позволяет определять их количество и интенсивность за любой промежуток времени.

Количество осадков по плювиографу регистрируется с точностью 0,1 мм, а время - до 1 мин, что позволяет вычислять интенсивность осадков до 0,01 мм/мин за интервал 10 минут.

О с а д к о м е р с у м м а р н ы й. Для измерения количества осадков в труднодоступных местах используют осадкомеры, дающие возможность измерять сумму выпавших осадков за большой срок – до 12 месяцев. Максимально измеряемое количество осадков 1500 мм. Во избежание испарения части осадков из такого осадкомера в него наливается 500 г керосина, который задерживает испарение.

**Лабораторное задание № 6. Измерение осадков.**

1. С использованием измерительного стакана измерить количество осадков в мм.
2. Ввести поправки на смачивание.
3. Заполнить соответствующие графы в таблице ТМ-1.

### 3. ПРОИЗВОДСТВО НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КОЛИЧЕСТВОМ И ФОРМОЙ ОБЛАКОВ

#### 3.1. Международная классификация облаков

При облакообразующих процессах за счет конденсации и сублимации водяной пар превращается в мелкие облачные капли, кристаллы или их смесь, которая и воспринимается как «облачная масса». Размер облачных капель очень мал, обычно не более 5 - 10 мкм - и каждая капля в отдельности не видна глазу. Только их скопление воспринимается как туманообразная облачная масса. Но надо твердо помнить, что это не пар, а уже капли и кристаллы, хотя они и свободно плавают в атмосфере.

Дальнейшее укрупнение облачных элементов, особенно характерное для слоисто-дождевых и кучево-дождевых, может приводить к образованию крупных капель ( $d = 0,1 - 7$  мм), и снежинок (1 – 10 мм), а также крупы и града, которые выпадают из облаков в виде осадков.

Облака образуются за счет восходящих движений различной природы, а при нисходящих движениях они разрушаются (размываются). При медленных упорядоченных подъемах больших слоев воздуха со скоростью порядка 1 – 10 см/с возникают облака плоских слоистообразных форм, а при бурных вертикальных токах конвекции (1 – 10 м/с) возникают кучевообразные формы облаков.

Наблюдения за количеством и формой облаков производятся визуально. Вначале определяют общую степень покрытия небесного свода всеми типами облаков по десятибалльной шкале (0 баллов – облаков нет, 1 балл – 0,1 часть небосвода занята облаками, ..... 10 баллов – все небо покрыто облаками). Затем отдельно также оценивается количество облаков нижнего яруса.

В качестве международной принята морфологическая классификация, основанная на высоте расположения и внешнем виде облаков. Всего в ней выделяется 10 основных форм (или родов) облаков, разделенных на три высотных яруса: нижний, для которого высота нижней границы облаков (НГ) менее 2 км, средний -  $2 \text{ км} < \text{НГ} < 6 \text{ км}$  и верхний –  $\text{НГ} > 6 \text{ км}$ .

Облака вертикального развития начинаются в нижнем ярусе, но могут иметь такую большую толщину (мощность), что вершины их часто располагаются в верхнем ярусе и достигают высот 7 – 10 км и более.

В таблице 3.1 приведены самые важные сведения обо всех 10 основных формах облаков.

Таблица 3.1

Сведения об основных формах облаков

| Название<br>(русское,<br>латинское) | Мощность,<br>км | Осадки | Просвечивание<br>света, оптические<br>явления |
|-------------------------------------|-----------------|--------|-----------------------------------------------|
|-------------------------------------|-----------------|--------|-----------------------------------------------|

|                                                                                                                                            |                                                                   |                                                                                    |                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Верхний ярус:<br>1.Перистые<br>Cirrus ( Ci )<br>2.Перисто-кучевые<br>Cirrocumulus ( Cc )<br>3.Перисто-слоистые<br>Cirrostratus ( Cs )      | от 0,1 до<br>неск. км<br><br>0,2-0,4<br><br>от 0,1 до<br>неск. км | не достигают<br>земли<br>не выпадают<br><br>не достигают<br>земли                  | просвечивают<br>Солнце, Луна и<br>звезды<br><br>яркое явление<br>гало                                                    |
| Средний ярус:<br>4.Высоко-кучевые<br>Alto cumulus ( Ac )<br><br>5.Высоко-слоистые<br>Altostratus ( As )                                    | 0,2-0,7<br><br>1-2                                                | полосы падения<br><br>слабые и<br>умеренные<br>осадки, летом не<br>достигают земли | местами<br>просвечивают,<br>наблюдаются<br>венцы.<br><br>просвечивание<br>Солнца и Луны<br>как сквозь<br>матовое стекло. |
| Нижний ярус:<br>6. Слоисто-кучевые<br>Strato cumulus ( Sc )<br>7. Слоистые<br>Stratus ( St )<br>8. Слоисто-дождевые<br>Nimbostratus ( Ns ) | 0,2-0,8<br><br>0,2-0,8<br><br>до неск. км                         | не выпадают<br><br>иногда морось,<br>снежные зерна<br><br>обложные осадки          | Солнца и Луны не<br>просвечивают.                                                                                        |
| Вертикального<br>развития:<br>9. Кучевые<br>Cumulus ( Cu )<br>10. Кучево-дождевые<br>Cumulonimbus ( Cb )                                   | от 0,2 до<br>неск. км                                             | не выпадают<br><br>ливневые осадки,<br>град, полосы<br>падения                     | Солнце<br>просвечивает по<br>краям.<br>Солнце не<br>просвечивает                                                         |

10 основных форм облаков таблицы 3.1 в свою очередь подразделяются на виды и разновидности, т.е. имеет место цепочка: форма → несколько видов → каждый вид (несколько разновидностей).

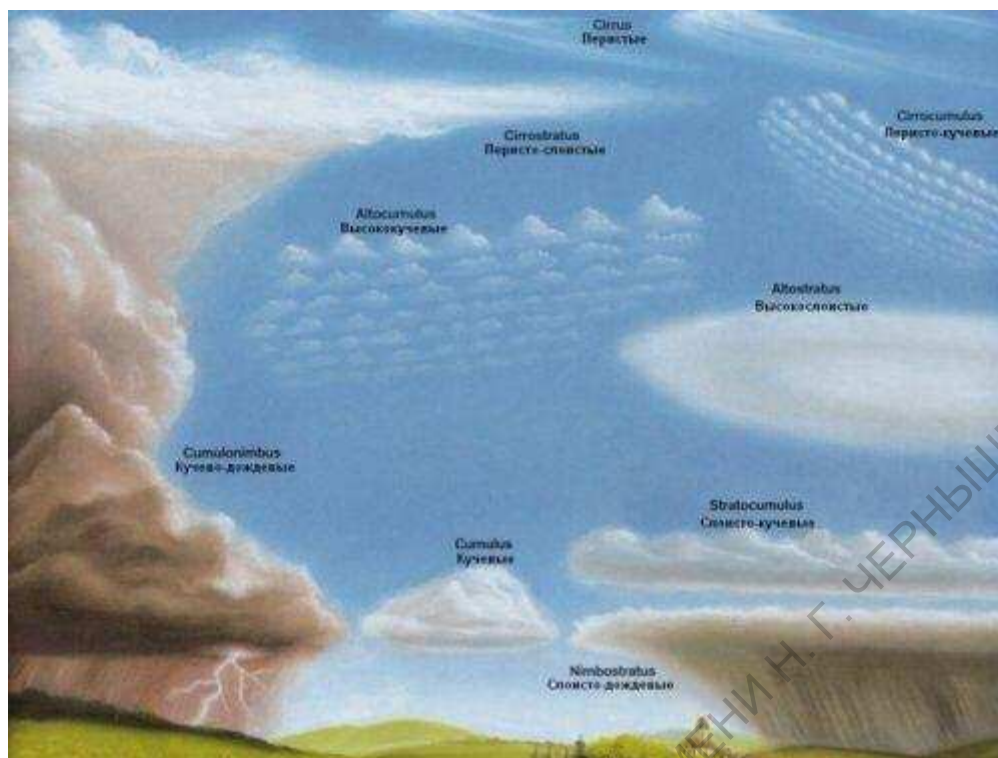


Рис. 3.1 Основные формы облаков

Например, слоистая форма имеет три вида: туманообразные, волнистые и разорванно-слоистые. Разновидностей у них нет, но у других форм и видов может быть до 3 – 4 разновидностей.

Полная классификация облаков приведена в Наставлении [6], а также в Атласе [1]. В Атласе приведены 94 фотографии тропосферных облаков, которые надо использовать при наблюдениях. Однако реальная сложность и многообразие облаков так велики, что в среднем не более чем в половине случаев, можно только найти достаточно хороший фотоаналог конкретному наблюдению за облачностью.

Наблюдения за облачностью, поэтому являются одними из самых сложных и субъективных. Они требуют достаточного опыта наблюдателя. Необходимо не только знать отличительные признаки облаков, но и иметь представление о физических процессах их образования, постоянно следить за развитием облачности и переходом ее из одних форм в другие.

Облака всех родов встречаются на высотах между уровнем моря и тропопаузой. В этом диапазоне высот условно различаются три яруса. Для каждого рода облаков можно указать, в каком ярусе или ярусах эти облака встречаются. В зависимости от температурных условий и от высоты тропопаузы границы ярусов в разных широтах несколько различаются.

Основание облаков верхнего яруса находится в полярных широтах на высотах от 3 до 8 км, в умеренных широтах — от 6 до 13 и в тропических широтах — от 6 до 18 км; среднего яруса — соответственно от 2 до 4, от 2 до 7 и от 2 до 8 км; нижнего яруса на всех широтах — от земной поверхности до 2 км.

Облака перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые встречаются в верхнем ярусе; высококучевые и высокослоистые — в среднем ярусе; слоисто-кучевые, слоистые и слоисто-дождевые — в нижнем. Высокослоистые облака часто проникают и в верхний ярус. Слоисто-дождевые обычно проникают и в вышележащие ярусы. Основания кучевых и кучево-дождевых облаков почти всегда находятся в нижнем ярусе, но их вершины часто проникают в средний, а у кучево-дождевых облаков и в верхний ярус. Поэтому эти облака называют облаками вертикального развития, а также конвективными.

### 3.2. Описание основных форм облаков

#### Облака верхнего яруса [9].

Это самые высокие облака тропосферы. Они образуются при наиболее низких температурах и состоят из ледяных кристаллов. Эти облака имеют белый цвет, они полупрозрачные и мало затеняют солнечный свет [9].

**Перистые облака** выглядят как отдельные нити, гряды или полосы волокнистой структуры. **Перисто-кучевые облака** представляют собой гряды или пласты, состоящие из очень мелких хлопьев, шариков, завитков (барашков). Часто они напоминают рябь на поверхности воды или песка.

**Перисто-слоистые облака** — тонкая прозрачная белесоватая вуаль, частично или полностью закрывающая небосвод. Иногда они имеют волокнистую структуру. В этих облаках часто возникают оптические явления: гало или различные комбинации светлых дуг.

#### Облака среднего яруса [9].

**Высококучевые облака** представляют собой облачные пласты или гряды белого или серого цвета (или одновременно и того и другого). Это достаточно тонкие облака, более или менее затеняющие солнце. Пласты или гряды состоят из плоских валов, дисков, пластин, часто расположенных рядами. Кажущаяся ширина этих элементов в облаках на небесном своде 1—5°. В них возникают оптические явления - венцы. Для высококучевых облаков характерна иризация - радужная окраска краев облаков, направленных к солнцу. Иризация указывает на то, что высококучевые облака состоят из очень мелких однородных капель, как правило, переохлажденных.

**Высокослоистые облака** [9]. — светлый, молочно-серый облачный покров различной плотности, застилающий небосвод целиком или частично. Через менее плотные участки могут просвечивать солнце и луна, однако, в виде размытых пятен. Высокослоистые облака являются типичными смешанными облаками: наряду с мельчайшими каплями в них содержатся и мелкие снежинки. Такие облака дают слабые осадки, которые в теплое время года, как правило, испаряются по пути к земной поверхности. Зимой из высокослоистых облаков часто выпадает мелкий снег.

#### Облака нижнего яруса [9].

**Слоисто-дождевые облака** имеют такое же происхождение, как и высокослоистые. Однако слой их более мощный (несколько километров). Эти

облака находятся в нижнем, среднем и часто верхнем ярусах. В верхней части они состоят из мельчайших капель и снежинок (схожи с высокослоистыми облаками), а в нижней могут содержать также крупные капли и снежинки. Поэтому слой этих облаков имеет темно-серый цвет. Солнце и луна сквозь него не просвечивают. Из слоисто-дождевых облаков, как правило, выпадает обложной дождь или снег, достигающий земной поверхности. Под покровом таких облаков часто существуют бесформенные скопления низких разорванных облаков, особенно мрачных на фоне слоисто-дождевых.

**Слоисто-кучевые облака** представляют собой гряды или слои серых или беловатых облаков, почти всегда имеющие более темные участки. Облака состоят из таких же элементов, что и высококучевые (из дисков, плит, валов), только более крупных. Кажущиеся размеры их более 5°. Расположены структурные элементы чаще всего рядами. Слоисто-кучевые облака состоят в основном из мелких однородных капель (при отрицательных температурах - переохлажденных) и не дают осадков. Иногда из них выпадает слабая морось или (при низких температурах) снежные зерна.

**Слоистые облака** — однородный серый слой капельного строения. Из них может выпадать морось. При достаточно низких отрицательных температурах в облаках появляются и твердые элементы: тогда из этих облаков могут выпадать ледяные иглы, мелкий снег, снежные зерна. Солнечный диск, просвечивающий сквозь облака, имеет четкие очертания. Иногда слоистые облака имеют вид разорванных клочьев; тогда их называют разорванно-слоистыми.

#### **Облака вертикального развития [9].**

**Кучевые облака** — плотные с резко очерченными контурами отдельные облака, развивающиеся вверх в виде холмов, куполов, башен. Имеют ослепительно белые клубящиеся вершины (похожи на кочаны цветной капусты). Основания облаков сравнительно темные. При большом количестве образуют гряды. Иногда они имеют разорванные края. Кучевые облака состоят только из водяных капель (без кристаллов) и осадков не дают. Однако в тропиках, где водность облаков велика, из них вследствие взаимного слияния капель могут выпадать небольшие дожди.

**Кучево-дождевые облака** образуются в результате дальнейшего развития кучевых облаков. Они представляют собой мощные кучевообразные массы, очень сильно развитые по вертикали в виде гор и башен. Часто простираются от нижнего до верхнего яруса. Закрывая солнце, они сильно уменьшают освещенность. Вершины их приплюснуты и имеют волокнистую перистообразную структуру, нередко характерную форму наковален. Кучево-дождевые облака состоят в верхней части из ледяных кристаллов, в средней — из кристаллов и капель различного размера, вплоть до самых крупных. Они дают осадки ливневого характера. С такими облаками часто связаны грозовые явления, поэтому их называют еще *грозовыми* (а также *ливневыми*). На фоне их нередко наблюдается *радуга*. Под основанием этих облаков, так же как и под слоисто-дождевыми, часто наблюдаются скопления разорванных облаков.

### 3.3. Генетическая классификация облаков

Различия в структуре и во внешнем виде облаков объясняются различиями в условиях их возникновения. Поэтому облака можно разделить на несколько генетических типов.

Различаются облака внутримассовые и фронтальные. Первые обязаны своим происхождением процессам, происходящим внутри однородных воздушных масс; вторые — процессам, связанным с фронтами, т.е. происходящими на границах между воздушными массами.

**Кучевообразные облака.** В неустойчивых воздушных массах (холодных, а летом над сушей также и местных) облакообразование связано с сильно развитой конвекцией при неустойчивой стратификации. В результате адиабатического охлаждения воздуха в восходящих токах и возникают облака конвекции. В среднем скорость восходящих токов при облакообразовании равна 3—6 м/с, но в отдельных случаях она превышает 10 м/с и даже может достигать 20 м/с. Вокруг облака наблюдаются более слабые нисходящие движения.

Процессы образования определяют и характерный внешний вид облаков, позволяющий называть их кучевообразными. По международной классификации это кучевые облака, которые при последующем развитии могут превратиться в кучево-дождевые.

Превращение кучевых в кучево-дождевые облака заключается в появлении ледяных кристаллов, в верхних частях облаков, или, как говорят, в оледенении вершин облаков. Внешне оно выражается в нарушении клубообразности вершин и появлении в них волокнистой структуры. Именно этот процесс приводит к выпадению ливневых осадков из кучево-дождевых облаков, тогда как кучевые облака, как правило, осадков не дают.

Кучево-дождевые облака даже в умеренных широтах могут в отдельных случаях достигать высоты 12 км и проникать в стратосферу. В тропиках они могут развиваться по вертикали даже выше 14 км. Поперечники кучево-дождевых облаков достигают 15—20 км. Облака состоят из отдельных ячеек, которые существуют в течение 20—30 мин.

Для сильного развития облаков конвекции очень важно, чтобы воздушная масса до значительной высоты обладала неустойчивой стратификацией. Это значит, что вертикальные градиенты температуры в ней до уровня конденсации (т.е. до уровня, где начинается облакообразование) должны быть больше сухоадиабатического градиента или по крайней мере близкими к нему, а над уровнем конденсации — больше влажноадиабатического. Высоту уровня конденсации можно приблизительно подсчитать (или определить с помощью аэрологической диаграммы), зная температуру и влажность воздуха у земной поверхности по формуле:

$$z_k = 122 (t_0 - \tau_0),$$

где  $z_k$  - уровень конденсации в метрах,  $t_0$  - температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) у земли,  $\tau_0$  - точка росы для этого воздуха. Размерность коэффициента — 122 м/град.

Температуры на уровне оледенения около - 8 ... - 12°C или еще ниже. До достижения этого уровня облако сохраняет капельную структуру, остается кучевым.

Слои с инверсиями температуры или даже с малыми вертикальными градиентами температуры задерживают распространение конвекции. Они так и называются **задерживающими слоями**. Когда вершины кучевых облаков достигают этого слоя, их дальнейшее развитие прекращается. Если слой инверсии лежит низко, он может помешать и самому образованию облаков.

В холодных воздушных массах, движущихся над теплой поверхностью, облака конвекции возникают и над сушей, и над морем. Над сушей летом они развиваются также в местных воздушных массах над сильно прогреваемой днем поверхностью почвы. В таких случаях облакообразование имеет особенно ярко выраженный суточный ход: облака получают наибольшее развитие в послеполуденные часы (часто с грозами, иногда с градом) и исчезают под утро. Менее резкий, но все же существует суточный ход облаков конвекции в холодных воздушных массах.

Зимой над сушей, покрытой снегом, облака конвекции развиваются редко или отсутствуют вовсе. Их развитие в холодных массах начинается весной, после таяния снежного покрова. Зимой над морем облака конвекции образуются часто. Они хорошо оформлены.

**Волнообразные облака.** В *устойчивых воздушных массах* (теплых, а зимой над сушей также и местных) основной процесс развития облаков — турбулентный перенос водяного пара вместе с воздухом от земной поверхности вверх и соответствующее его адиабатическое охлаждение. Слои инверсии ограничивают перенос подинверсионным слоем. Под инверсией происходит накопление водяного пара и его радиационное выхолаживание. Поэтому облака и возникают преимущественно под слоем инверсии. По международной классификации это **слоистые облака**.

Другой процесс связан с переносом облаков нижнего яруса из областей пониженного давления в области повышенного давления, где облака оказываются под инверсией, образующейся над ними в результате оседания воздуха, характерного для восточных частей антициклонов. По международной классификации это, как правило, **слоисто-кучевые облака**. И те и другие облака растянуты в горизонтальном направлении и часто обнаруживают волновую структуру, поэтому и называются **волнообразными**. Такая структура объясняется участием в облакообразовании еще и волновой процесса: в слое инверсии и по обе стороны от него возникают воздушные волны длиной 50—2000 м, обусловленные разрывом скорости ветра и плотности (температуры) воздуха. В гребнях волн воздух приподнимается вверх, в долинах опускается вниз. В результате облачный слой может расчлениваться на отдельные валы, характерные для внешнего вида слоисто-кучевых облаков. При существовании инверсий в средней тропосфере такой же процесс приводит к образованию **высококучевых облаков**.

Кроме свободных волн в атмосфере могут возникать и вынужденные

стоячие волны над горами, через которые перетекает воздух. В гребне такой стоячей волны возникает облако, кажущееся неподвижным, но в действительности все время возникающее заново во вновь приносимом воздухе. Такие облака называются **облаками препятствий**, для них характерен **чечевицеобразный** вид.

Волнообразные облака в суточном ходе имеют максимум повторяемости ночью. Слоистые облака особенно характерны для ночного времени и для холодного сезона.

**Слоистообразные облака.** *С фронтами связаны облака упорядоченного крупномасштабного восходящего движения.* Они представляют собой огромные облачные системы, вытянутые в длину вдоль фронта на тысячи километров и в ширину захватывающие сотни километров. В основной своей части облака имеют вид мощных облачных слоев, поэтому и называются **слоистообразными** (не смешивать со слоистыми облаками по международной классификации). Фронт отделяет пологий клин холодного воздуха от лежащего рядом с ним и над ним более теплого воздуха. При этом, как правило, развивается восходящее движение теплого воздуха по холодному клину.

Так как поверхность фронта очень пологая (тангенс ее угла наклона всего 0.01 и меньше), то в основном движение теплого воздуха представляет собой горизонтальный перенос. К горизонтальному переносу присоединяется небольшая направленная вверх вертикальная составляющая порядка сантиметров или долей сантиметра в секунду, и это чрезвычайно важно. Медленный подъем теплого воздуха по холодному клину и над ним приводит к адиабатическому охлаждению мощных его слоев и к конденсации в них водяного пара. В результате и возникает облачная система, расположенная в теплом воздухе над холодным клином.

**Облачная система упорядоченного восходящего движения особенно хорошо выражена на теплом фронте.** Самая мощная часть системы вблизи линии фронта представляет собой **слоисто-дождевые облака** в несколько километров толщиной. Дальше от линии фронта облака переходят в менее мощные - **высокослоистые**, еще дальше — в **перисто-слоистые**, перед которыми наблюдаются гряды **перистых** облаков уже на расстоянии многих сотен километров от линии фронта.

Осадки из высокослоистых облаков не достигают земной поверхности, по крайней мере, летом. Но из слоисто-дождевых облаков выпадают обложные протягивающиеся вдоль фронта осадки полосой, ширина которой 200—300 км и более. Вместе с перемещением фронта перемешаются и связанные с ним облака и осадки. Появление на западном или южном горизонте вытянутых (сходящихся в перспективе) полос перистых облаков часто является предзнаменованием приближения теплого фронта с последующей более или менее мощной облачностью и осадками.

*При холодном фронте образуется по существу такая же облачная система, только более узкая и в передней (наиболее мощной) части имеющая характер кучево-дождевых облаков с ливневыми осадками, так как подъем*

теплого воздуха носит более бурный характер, чем при теплом фронте.

На так называемых **фронтах окклюзии** движение воздуха сложнее, но и там возникает, в общем, сходная облачная система.

На фронтах возможно образование облаков и некоторых других типов. Например, для холодного фронта характерны перисто-кучевые облака, для фронта окклюзии типичны разнообразные виды высококучевых облаков. Летом над сушей кучево-дождевые облака нередко развиваются и на теплом фронте.

Фронтальные облака могут усиливаться при приближении фронта к горному хребту. При подъеме воздушного течения по горному склону в нем могут развиваться и самостоятельные **орографические облака**, чаще всего **кучевообразные**.

Фронтальная облачность в наименьшей степени обнаруживает суточный ход. Но все же днем она немного усиливается.

Во внетропических широтах преобладают облака упорядоченного восходящего движения. В тропиках основное место принадлежит облакам конвекции.

### 3.4. Световые явления в облаках

С облаками в атмосфере связаны различные световые (оптические) явления. Практического значения они не имеют, но дают некоторые сведения о характере облаков. Световые явления обусловлены отражением, преломлением и дифракцией света в каплях и кристаллах облаков [9].

В ледяных облаках верхнего яруса, особенно в перисто-слоистых, возникают явления **гало** [9]. К ним относятся **световые круги радиусом 22 или 46 угловых градусов**, центры которых совпадают с центром солнечного (или лунного) диска. Круги слабо окрашены в радужные цвета (красный внутри). Кроме этих основных форм гало наблюдаются **ложные солнца** — слегка окрашенные светлые пятна на одном уровне с солнцем и на угловом расстоянии от него также 22 или 46°. К основным кругам присоединяются иногда различные **касательные дуги** к ним. Наблюдаются еще неокрашенные вертикальные столбы, проходящие через солнечный диск, т.е. как бы продолжающие его вверх и вниз, а также неокрашенный **горизонтальный круг** на одном уровне с Солнцем.

Окрашенные гало объясняются преломлением света в шестигранных призматических кристаллах ледяных облаков, неокрашенные (бесцветные) формы — отражением света от граней кристаллов. Разнообразие форм гало зависит в основном от типов и движения кристаллов, от ориентации их осей в пространстве, а также от высоты Солнца.

Гало в 22° обусловлено преломлением света боковыми гранями кристаллов при беспорядочной ориентации их главных осей во всех направлениях. Если главные оси имеют преимущественно вертикальное направление, то по обе стороны от солнечного диска (также на расстоянии 22°) вместо светлого круга возникают два светлых пятна — ложные солнца.

Гало в 46° (и ложные солнца в 46°) обусловлено преломлением света между

боковыми гранями и основаниями призм, т.е. с преломляющим углом  $90^\circ$ .

Горизонтальный круг обусловлен отражением света боковыми гранями вертикально расположенных кристаллов, а солнечный столб — отражением света от кристаллов, расположенных преимущественно горизонтально.

В тонких водяных облаках, состоящих из мелких однородных капель (обычно это высококучевые облака) и закрывающих диск светила, за счет дифракции возникают явления **венцов**. Венцы возникают также в тумане около искусственных источников света.

Основная, а часто единственная часть венца — светлый круг небольшого радиуса, окружающий вплотную диск светила (или искусственный источник света). Круг в основном имеет голубоватый цвет и лишь по внешнему краю — красноватый. Его называют также **ореолом**. Он может быть окружен одним или несколькими **дополнительными кольцами** такой же, но более светлой окраски, не примыкающими вплотную к кругу и друг к другу. Радиус ореола  $1\text{--}5^\circ$ . Он обратно пропорционален диаметрам капель в облаке, поэтому по нему можно определить размеры капель в облаках.

**Венцы** вокруг искусственных источников света малых размеров (по сравнению с дисками светил) имеют более богатые радужные цвета [9].

Очень интересно явление **глории** [9]. **Глория** подобна венцу, но возникает она не вокруг солнца или луны, а вокруг точки, прямо противоположной диску светила. Наблюдается gloria на облаках, расположенных прямо перед наблюдателем или ниже его, т.е. в горах или с самолета. На эти облака падает тень наблюдателя, и gloria представляется наблюдателю расположенной вокруг тени его головы. Глория объясняется дифракцией света, до этого уже отраженного в каплях облаков так, что он возвращается от облаков в том же направлении, по которому падал.

Всем известно эффектное **явление радуги**. Радуга наблюдается на фоне облаков, из которых выпадает дождь, если эти облака освещены Солнцем и, следовательно, расположены против него. Это светлая дуга радиусом около  $42^\circ$ , окрашенная в спектральные цвета: по внешнему краю — в красный, по внутреннему — в фиолетовый, а между ними — в остальные цвета спектра. Дуга радуги является частью окружности, центр которой лежит на прямой, соединяющей центр солнечного диска с глазом наблюдателя (изредка наблюдается и **лунная радуга**). При перемещении наблюдателя вместе с ним перемещается и видимая им радуга. Если Солнце низко над горизонтом, то центр радуги тоже располагается у горизонта, и она представляет собой почти полуокружность. По мере поднятия Солнца над горизонтом радуга опускается под горизонт. При высоте Солнца  $42^\circ$  и более радуги вообще не видно. С самолета иногда удавалось наблюдать радугу в виде почти полного круга.

Кроме основной радуги (первой) нередко можно видеть более слабую **дополнительную (вторую) радугу** [9], радиусом около  $50^\circ$  с фиолетовым цветом по наружному краю, а изредка даже третью и четвертую дугу. Иногда можно заметить дополнительные радуги и внутри основной. Интенсивность света, ширина и окраска радуги сильно варьируют в зависимости от размеров капель.

Так как для образования типичной радуги необходимы достаточно крупные капли облаков или выпадающего дождя, условия, при которых наблюдается типичная радуга (освещенное Солнцем облако с дождем), создаются преимущественно в кучево-дождевых облаках. Иногда радуга может наблюдаться и на фоне облаков с мелкими каплями, даже на фоне тумана. В этом случае она широкая, почти белого цвета со слабо окрашенными краями. Наблюдается радуга и в брызгах морских волн, водопадов.

Радуга объясняется преломлением солнечных лучей при входе и выходе из капель, их отражением.

## **4. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛОЩАДКА**

Метеорологическая площадка служит для установки приборов и оборудования, необходимых при производстве метеорологических наблюдений в приземном слое атмосферы [6].

Метеорологическая площадка устанавливается на участке, характерном (типичном) для окружающей территории. Характерность метеорологической площадки обеспечивается тем, что она располагается на преобладающих формах рельефа и удалении от источников влаги (река, озеро, море) на расстоянии не менее 100 м от уреза воды.

Метеорологическая площадка должна быть удалена от невысоких отдельных препятствий (одноэтажных построек, отдельных деревьев и т. п.) на расстояние не меньше 10-кратной высоты этих препятствий. От значительных по протяженности препятствий (лесов, больших групп построек, городских улиц и т. п.) площадка должна быть удалена на расстояние не меньше 20-кратной высоты этих препятствий. Нельзя размещать метеорологическую площадку вблизи глубоких оврагов, обрывов и других резких изломов рельефа.

### **4.1. Устройство метеорологической площадки**

Метеорологическая площадка станции должна иметь форму квадрата (со стороной 26 м), одна сторона которого ориентирована в направлении север — юг. На станциях с неполной программой наблюдений разрешается уменьшение площадки до размеров 20X16 м [6].

Метеорологические приборы и оборудование на площадке должны быть размещены в соответствии с планом (рис. 4.1). Мачты с анеморумбометром и флюгерами, а также гололедный станок устанавливаются в северной части площадки; психрометрическая будка и будка для самописцев, а также осадкомер и плювиограф размещаются в середине площадки; южная часть площадки отводится для наблюдений за температурой почв. Запрещаются асфальтовые и бетонные покрытия дорожек. Для подхода к приборам разрешается пользоваться тропинками или деревянным настилом.

Метеорологическая площадка должна быть огорожена для сохранения естественной поверхности площадки, а также для сохранности установленного на ней оборудования. Ограда должна обеспечивать хорошую естественную вентиляцию любого места на площадке, а зимой не способствовать образованию сугробов. Рекомендуются стандартная ограда из проволоочной сетки с ячейками размером 10 X 10 см, натянутой на металлические рамы. Рамы укрепляются на металлических трубах либо железобетонных или деревянных столбах высотой 1,2—1,5 м над поверхностью земли.

Калитка для прохода на метеорологическую площадку устанавливается с северной стороны ограды; допускается установка с восточной или западной стороны. Калитка должна запираться.

Метеорологическая площадка должна быть оборудована стационарным освещением от сети или других источников энергии с напряжением не более

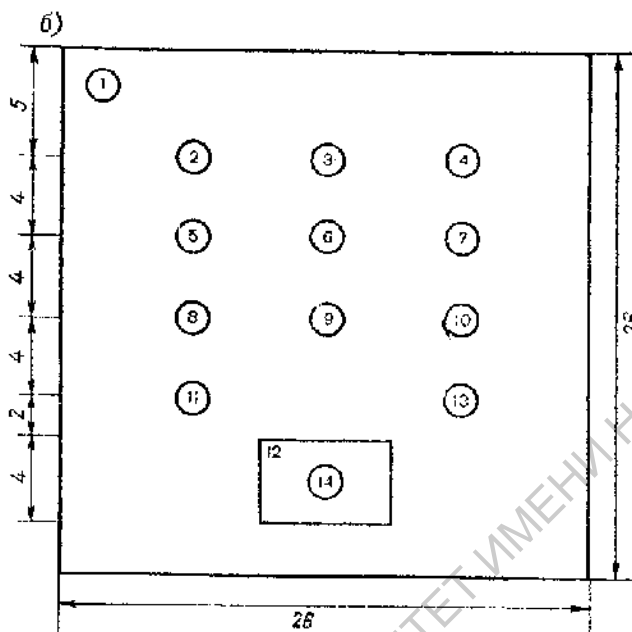


Рис. 4.1. План размещения оборудования и приборов на метеорологической площадке (расстояния указаны в метрах) [6].

Обозначения: 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 — плевниограф;
- 10 — запасной столб для осадкомера; 11, 13 — снегомерные рейки;
- 12 — оголенный участок для напочвенных термометров;
- 14 — напочвенные термометры.

360 В постоянного или переменного тока. При отсутствии постоянного электрического освещения необходимо пользоваться надежным переносным электрическим фонарем.

#### 4.2. Требования к содержанию метеорологической площадки

На метеорологической площадке должна сохраняться естественная подстилающая поверхность, характерная для окружающей станцию территории. Для того необходимо [6]:

— траву на метеорологической площадке скашивать регулярно так, чтобы высота травы не превышала 20 см; скошенная трава должна убираться с площадки немедленно;

— снежный покров оставлять в естественном состоянии с момента его образования до окончательного таяния. Если на метеорологической площадке образуются сугробы, которые резко изменяют высоту снежного покрова около приборов по сравнению с окружающей местностью, то эти сугробы следует срезать и убирать с площадки. При этом надо по возможности меньше нарушать структуру оставшегося слоя снега (меньше утаптывать снег, не перемешивать его). Об очистке площадки от сугробов надо записать в книжке КМ-1. С крыш и со стенок будок, а также с планок осадкомера снег необходимо удалять до наблюдений, во время предварительного обхода площадки.

Приборы и оборудование, установленные на метеорологической площадке, должны поддерживаться в исправном рабочем состоянии. Ограда площадки, будки, лесенки, подставки приборов должны содержаться в чистом виде и своевременно окрашиваться белой краской. Изношенное и неиспользуемое оборудование должно убираться.

Метеорологическая площадка должна располагаться по возможности недалеко от служебного помещения станции (не далее 150 м) и быть под постоянным контролем дежурных наблюдателей.

## **5. СРОКИ И ПРОГРАММА ПРОИЗВОДСТВА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

### **5.1. Сроки производства метеорологических наблюдений**

Метеорологические наблюдения на всех станциях производятся по московскому (зимнему) времени, которое отличается на плюс 3 ч от среднего гринвичского, принятого за международное. В соответствии с этим сроки наблюдений, записи начала и окончания атмосферных явлений в книжках, таблицах и других материалах наблюдений указываются по московскому (зимнему) времени. Исключение составляют наблюдения за продолжительностью солнечного сияния, которые выполняются по истинному солнечному времени.

На всех основных метеорологических станциях наблюдения производятся в единые синхронные сроки наблюдений: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч. московского (зимнего) времени. Под сроком наблюдений понимается интервал времени продолжительностью 10 мин, заканчивающийся точно в указанный час [9]. Так, под сроком 6 ч. понимается интервал времени от 5 ч. 50 мин до 6 ч. 00 мин.

При записи сроков наблюдений в книжках, таблицах и других материалах наблюдений за конец суток принимается срок, ближайший к 20 ч. поясного декретного (зимнего) времени. С момента окончания этого срока начинаются новые сутки.

*Пример.* Во II часовом поясе (Москва), срок, ближайший к 20 ч. местного (зимнего) времени, приходится на 21 ч. московского времени (с 20 ч. 50 мин. до 21 ч. 00 мин.). Период времени до момента 21 ч. 00 мин. (включая и сам срок наблюдений) относится к одним суткам, а с момента 21 ч. 00 мин. начинаются следующие сутки. Первый срок наблюдений в этих сутках будет 0 ч. (с 23 ч. 50 мин. до 0 ч. 00 мин.).

Для удобства работы станций в книжках, таблицах и других документах наряду со сроком наблюдений по московскому (зимнему) времени указывается и поясное декретное время: зимой — зимнее, летом — зимнее плюс 1 ч.

*Пример.* Для станции в VI часовом поясе срок наблюдений 18 ч. следует записать в книжке КМ-1: зимой 18/22 ч., летом—18/22 + 1 ч.

### **5.2. Программа метеорологических наблюдений**

Станции, входящие в основную сеть, производят метеорологические наблюдения по следующей обязательной программе: в сроки 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч московского (зимнего) времени производятся измерения температуры и влажности воздуха, характеристик ветра, атмосферного давления, температуры почвы, видимости, высоты нижней границы облачности, а также определение количества и форм облаков [9].

В сроки, ближайшие к 8 и 20 ч. поясного декретного (зимнего) времени, производится измерение количества осадков, выпавших за ночную и дневную

половины суток. Станции, расположенные во II часовом поясе, производят измерения количества осадков в сроки 6, 9, 15, 18 ч.

В срок, ближайший к 8 ч. поясного декретного (зимнего) времени, производятся наблюдения за состоянием подстилающей поверхности.

Наблюдения за атмосферными явлениями и состоянием погоды ведутся на станциях непрерывно в течение суток.

При наличии снежного покрова ежедневно производятся измерения высоты снежного покрова и определение характеристик его состояния (в срок, ближайший к 8 ч поясного декретного (зимнего) времени), а также регулярно (один раз в 10 дней или один раз в 5 дней) снегосъемки на закрепленных маршрутах.

При возникновении опасного или особо опасного метеорологического явления производятся дополнительные наблюдения, необходимые для определения степени опасности. Порядок производства наблюдений в единые синхронные сроки устанавливается в зависимости от программы наблюдений конкретной станции. При этом обязательно для всех без исключения станций должны соблюдаться следующие условия:

- за 30 мин до срока все приборы и установки должны быть осмотрены и подготовлены к наблюдениям;
- измерения температуры и влажности воздуха должны производиться точно за 10 мин до срока.
- измерение давления производится не ранее как за 2 мин до срока;
- метки на бланках термографа и гигрографа должны быть сделаны до измерений температуры и влажности воздуха; время смены бланка должно указываться с точностью до минуты;
- если во время проведения наблюдений возникло опасное явление, необходимо прервать наблюдение, составить и передать штормовые телеграммы, после чего вновь провести наблюдения, предусмотренные программой станции;
- если для измерения характеристик ветра используется флюгер, наблюдения по нему производятся перед отсчетами по приборам в психрометрической будке;
- запись и обработка результатов наблюдений в книжках для записи наблюдений осуществляются во время наблюдений или сразу после них;
- запрещается передача информации о состоянии погоды до окончания срока (10-минутного интервала перед сроком).

## **6. ПРОИЗВОДСТВО ГРАДИЕНТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

### **6.1. Тепло – и влагообмен между деятельной поверхностью и воздухом**

Нагревание или охлаждение приземного слоя воздуха происходит от подстилающей поверхности. Если температура подстилающей поверхности будет выше температуры воздуха, то поток тепла будет направлен от подстилающей поверхности в воздух (положительный поток). Получая тепло, воздух будет нагреваться. Если температура подстилающей поверхности будет ниже, чем температура воздуха, то поток тепла будет направлен от воздуха к подстилающей поверхности (отрицательный поток). Теряя тепло, воздух будет охлаждаться.

Количество тепла, затрачиваемое на испарение или получаемое при конденсации, зависит от количества испарившейся или сконденсировавшейся влаги и определяется путем умножения этого количества на величину скрытой теплоты парообразования.

За положительное направление потока водяного пара принято считать направление потока от подстилающей поверхности в воздух (испарение), а за отрицательное — из воздуха к подстилающей поверхности (конденсация).

Интенсивность потоков тепла и влаги на гидрометеорологических станциях определяется по данным актинометрических или градиентных наблюдений над скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха и температурой почвы [5]. Г р а д и е н т н ы е наблюдения имеют целью определить средние за 10 мин. величины скорости ветра, температуры и влажности воздуха одновременно на двух высотах  $Z_1$  и  $Z_2$  и получить разности этих элементов между указанными высотами, условно называемые градиентами. В качестве стандартных высот для градиентных наблюдений приняты высоты  $Z_1 = 0,5$  м и  $Z_2 = 2,0$  м над поверхностью почвы.

### **6.2. Градиентные наблюдения над скоростью ветра**

Градиентные наблюдения над скоростью ветра производятся с помощью ручных анемометров. Анемометры устанавливаются на высотах 0,5 и 2,0 м над поверхностью земли, на отдельных шестах, расположенных перпендикулярно к преобладающему направлению ветра. Расстояние между шестами должно быть 2-3 м. Ручные анемометры, ввиду ограниченного срока эксплуатации, устанавливаются только на время наблюдений и снимаются после проведения наблюдений [5].

Для установки анемометров используются деревянные шесты диаметром 5 см, длиной 70 и 240 см. Шесты погружаются в почву на глубину: первый — 30 см, второй — 50 см. Для установки анемометров на верхних концах шестов высверливаются отверстия.

При отсутствии на станции двух анемометров или в случае выхода одного анемометра из строя измерение скорости ветра производится только на одной высоте, равной 1 м над поверхностью земли.

Скорость ветра определяется в среднем за 10 мин. Для этого анемометры включаются, по возможности, одновременно (в последовательности от верхнего к нижнему), сроком на 10 мин.

При наблюдении над скоростью ветра ручными анемометрами предварительные отсчеты по ним должны быть произведены и записаны в книжку наблюдений до начала наблюдений. Запись второго отсчета в книжку наблюдений производится после окончания всех наблюдений на площадке.

Результаты измерений скорости ветра на каждой высоте записываются в книжку наблюдений. Обработка градиентных наблюдений над скоростью ветра состоит: из вычисления средних за 10 мин. скоростей ветра и на каждой высоте, вычисления разности скоростей ветра между высотами 2,0 и 0,5 м ( $\Delta V = V_{2,0} - V_{0,5}$ ), вычисления коэффициента турбулентности  $K_1$ .

Для вычисления средней за 10 мин. скорости ветра необходимо разность между вторым и первым отсчетами разделить на 600 сек. и умножить полученное число делений в секунду на переводной множитель, указанный в поверочном свидетельстве для данного анемометра.

### **6.3. Градиентные наблюдения над температурой и влажностью воздуха**

Градиентные наблюдения над температурой и влажностью воздуха производятся с помощью аспирационных психрометров и включают измерение температуры и влажности воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м в течение 10 мин [5].

Психрометры на площадке устанавливаются на шестах диаметром 5 см и длиной 160 и 360 см. Шесты погружаются в почву на глубину: первый — 50 см, второй — 70 см.

На первом шесте устанавливается психрометр в горизонтальном положении так, чтобы резервуары термометров находились на уровне 0,5 м над поверхностью. Для этого психрометр подвешивается с помощью прочного шнура, привязанного одним концом за шейку, а вторым за раструб прибора, набитом в шест гвозде. Чтобы психрометр не смог двигаться на гвозде и всегда был в одном положении, на шнуре надо сделать петлю.

На втором шесте психрометр подвешивается в вертикальном положении на крючке с таким расчетом, чтобы резервуары его термометров находились на высоте 2 м. Для удобства отсчетов психрометра, расположенного на высоте 2 м, необходимо иметь постоянную лесенку высотой 50—70 см.

Перед наблюдением следует обязательно следить за горизонтальной установкой психрометра. Нельзя допускать, чтобы резервуары термометров оказались приподнятыми или наклоненными вниз. При горизонтальной установке психрометра раструб прибора должен быть обращен в сторону, откуда дует ветер, а не наоборот и не перпендикулярно к ветру. С этой целью в шест следует вбить не один, а два гвоздя (с северной и западной сторон), на которые будет возможно подвешивать психрометр при любых направлениях

ветра. Необходимо при этом следить, чтобы в раструб психрометра не попадали солнечные лучи.

**Производство наблюдений по психрометру:** При наблюдениях над температурой и влажностью воздуха по аспирационным психрометрам, установленным на 2-х высотах, должно быть сделано в течение 10 мин. по 3 отсчета сухого и смоченного термометров.

При производстве наблюдений по психрометру должны соблюдаться следующие правила:

а) смачивание термометра, завод психрометра и отсчеты термометров производятся вначале у нижнего, а затем у верхнего психрометра;

б) первый отсчет серии производится через 4 мин. после смачивания;

в) после производства первых отсчетов психрометры дополнительно заводятся без смачивания батиста и через 2 мин. после этого производятся вторые отсчеты;

г) после записи вторых отсчетов в книжку наблюдений психрометры вновь смачиваются и заводятся, как и перед первым отсчетом, и через 4 мин. после этого производятся третьи отсчеты.

Запись наблюдений по психрометрам производится в специальную книжку наблюдений (табл. 6.1). В книжку наблюдений записывается каждое показание сухого и смоченного термометров на всех высотах, а также и состояние диска солнца во время проведения каждого отсчета ( $0^2$ , 0,  $0^\circ$ , П).

Обработка градиентных наблюдений над температурой и влажностью воздуха включает:

а) определение средней за 10 мин. температуры по сухому и смоченному термометрам для каждой высоты. В случае наблюдения по одному психрометру за среднюю температуру, как по сухому, так и по смоченному термометру на высоте 0,5 м принимается среднее из трех отсчетов (двух в начале серии и одного в конце серии), а для высоты 2,0 м — среднее из двух отсчетов;

б) введение поправок к средним отсчетам термометров;

в) определение абсолютной и относительной влажности воздуха на каждой высоте по данным средней температуры сухого и смоченного термометров (по психрометрической таблице);

г) вычисление разности температуры и влажности воздуха в слое 0,5 и 2,0 м.

Разности температуры и влажности воздуха на указанных высотах приняты как градиенты названных параметров. Под вертикальным градиентом температуры и влажности воздуха понимается изменение температуры и влажности воздуха на единицу высоты.

В зависимости от состояния устойчивости в приземном слое воздуха градиент температуры и влажности может иметь различный знак, т. е. быть положительным, отрицательным или равняться нулю.

Таблица 6.1

**Образец заполнения книжки градиентных наблюдений [2]**

Число: 15.05.2005г.      Время: 12.00      Облачность: 0/0

Состояние диска солнца: 0<sup>2</sup>

| Измеряемые элементы       | Температура (° C) и влажность воздуха |      |      |      |      |      | Скорость ветра            |                         |              |
|---------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|---------------------------|-------------------------|--------------|
|                           | 0,5                                   |      | 1,5  |      | 2,0  |      | высота установки, м       | 0,5                     | 2,0          |
| № отсчетов                | Сух.                                  | См.  | Сух. | См.  | Сух. | См.  | № отсчета                 | Показания по анемометру |              |
| 1                         | 15,2                                  | 13,6 | 15,0 | 13,0 | 14,7 | 12,8 | 2                         | 959                     | 2640         |
| 2                         | 15,3                                  | 13,6 | 15,0 | 13,1 | 14,8 | 12,9 | 1                         | 116                     | 1240         |
| 3                         | 15,4                                  | 13,4 | 14,9 | 13,0 | 14,8 | 12,8 | разность                  | 840                     | 1400         |
| Среднее                   | 15,3                                  | 13,5 | 15,0 | 13,0 | 14,8 | 12,8 | делен./сек                | 1,1                     | 2,3          |
| Поправка                  | 0,0                                   | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | м /сек                    | 1,5                     | 2,3          |
| Исправленная              | 15,3                                  | 13,5 | 15,0 | 13,1 | 14,8 | 12,8 | Температура на почве, ° C |                         |              |
| Точка росы, ° C           | 12,0                                  | -    | 11,3 | -    | 11,1 | -    | срочный                   | поправка                | исправленная |
| Парциальное давление, гПа | 14,0                                  | -    | 13,4 | -    | 13,2 | -    | 15,8                      | 0,2                     | 16,0         |
| Относительная влажн., %   | 80                                    | -    | 79   | -    | 78   | -    |                           |                         |              |
| Дефицит, гПа              | 3,4                                   | -    | 3,6  | -    | 3,6  | -    |                           |                         |              |

За положительный градиент температуры следует считать градиент, наблюдающийся при неустойчивом состоянии в приземном слое, т. е. при убывании температуры с высотой. За отрицательный градиент температуры — градиент, наблюдающийся при устойчивом состоянии, т. е. при возрастании температуры с высотой. При изотермии градиент температуры равен нулю.

За положительный градиент влажности принимается градиент, наблюдающийся при убывании влажности с высотой. За отрицательный градиент влажности принимается градиент, наблюдающийся при возрастании

влажности с высотой. Отрицательный знак градиента температуры и влажности воздуха должен обязательно указываться при записи величин разностей в книжку наблюдений и в таблицу.

Средние значения температуры и влажности воздуха на каждой высоте и их разности заносятся в таблицу градиентных наблюдений (табл. 6.1).

#### **6.4. Вычисление коэффициента турбулентности на высоте 1 м**

Коэффициент турбулентности ( $K_1$ ) характеризует перенос какой-либо субстанции (тепла, влаги, пыли и т. д.) в вертикальном направлении через единицу площади в секунду путем турбулентной диффузии.

Коэффициент турбулентности является основным фактором, определяющим теплообмен и влагообмен между подстилающей поверхностью и прилегающим к ней слоем воздуха.

На станциях, ведущих измерения скорости ветра, температуры и влажности воздуха на двух высотах (0,5 и 2,0 м), определение коэффициента турбулентности на высоте 1 м производится по формуле:

$$K_1 = 0,104 \Delta V (1 + 1,38 \Delta T / \Delta V^2) \text{ [м}^2\text{/сек]}, \quad (6.1)$$

где  $K_1$  — коэффициент турбулентности на высоте 1 м,  $\Delta V$  — средняя за 10 мин. разность скоростей ветра в м/сек на высотах 2,0 и 0,5 м,  $\Delta T$  — средняя за 10 мин. разность температуры в градусах Цельсия на высотах 0,5 и 2,0 м. Формулой (6.1) нельзя пользоваться в случаях, когда член  $1,38 \Delta T / \Delta V^2$  больше или равен - 1,0.

#### **6.5. Определение интенсивности потока тепла при теплообмене между деятельной поверхностью и воздухом**

Интенсивность теплового потока в воздух (в кал/см<sup>2</sup>·мин) можно определить диффузным методом с использованием коэффициента турбулентности  $K_1$  на высоте 1 м и разности температур  $T$  в слое 0,5 и 2,0 м.

Формула для вычисления интенсивности теплового потока диффузным методом имеет следующий вид:

$$L_1 = 1,35 K_1 \Delta T \text{ [кал/см}^2\text{·мин]}, \quad (6.2)$$

где  $K_1$  — коэффициент турбулентности на высоте 1 м в м<sup>2</sup>/сек,  $\Delta T = T_{0,5} - T_{2,0}$  в °С. Диффузный метод вычисления интенсивности потока тепла применяется при положительных градиентах температуры. При отрицательных градиентах температуры он применим только в случае возможности вычисления  $K_1$ .

Диффузным методом можно пользоваться лишь при скоростях ветра на высоте 2 м более 1 м/сек.

#### **6.6. Определение величины испарения и количества тепла, затрачиваемого на испарение**

Величина испарения диффузным методом определяется по следующей формуле:

$$E_1 = 2,1 K_1 \Delta e \text{ [мм/час]}, \quad (6.3)$$

где  $\Delta e$  – разность парциального давления водяного пара в гПа, измеренного на высотах 0,5 и 2,0 м,  $K_1$  - коэффициент турбулентности на высоте 1 м в м<sup>2</sup>/сек.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Атлас облаков. – Л.: Гидрометеиздат, 1975, 267 с.
2. Иванова Г.Ф. Метеорологические приборы и измерения. – Саратов: «Научная книга», 2006, 40 с.
3. Кириллов В.В. Международная система единиц измерений (СИ) в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1965, 152 с.
4. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1984, 751 с.
5. Методические указания гидрометеорологическим станциям. // Производство градиентных наблюдений и расчет составляющих теплового баланса. № 5. - Л.: Гидрометеиздат, 1981, 43 с.
6. Наставление метеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. - Л.: Гидрометеиздат, 1985, 300 с.
7. Психрометрические таблицы. – Л.: Гидрометеиздат, 1981, 270 с.
8. Стернзат М. С. Метеорологические приборы и измерения. - Л.: Гидрометеиздат, 1978, 323 с.
9. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во «Колос», 2004, 582 с.
10. Чертов А.Г. Единицы физических величин. – М.: «Высшая школа», 1977, 287 с.