

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра высшей математики и физики

# **ФИЗИКА С ОСНОВАМИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ**

## **АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ**

*Методические указания к лабораторно-практическим занятиям  
для студентов, обучающихся по специальностям  
1-74 02 01 Агрономия, 1-74 02 02 Селекция и семеноводство,  
1-74 02 03 Защита растений и карантин,  
1-74 02 04 Плодоовощеводство,  
1-74 02 05 Агрохимия и почвоведение*

Горки  
БГСХА  
2020

УДК 551.502.4(072)  
ББК 40.2  
Ф48

*Рекомендовано методической комиссией  
агроэкологического факультета.  
Протокол № 3 от 23 ноября 2018 г.*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Л. Е. Кириленко*;  
старший преподаватель *А. В. Цвыр*;  
ассистенты *Н. А. Дубина*, *О. А. Мазаева*

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Т. Ф. Персикова*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *И. Г. Пугачева*

#### СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 3  |
| 1. Лучистая энергия. Актинометрические наблюдения..... | 4  |
| 2. Измерение температуры почвы и воздуха.....          | 18 |
| 3. Измерение влажности воздуха.....                    | 30 |
| 4. Наблюдения за облаками.....                         | 38 |
| 5. Осадки и испарение.....                             | 47 |
| 6. Атмосферное давление.....                           | 58 |
| 7. Скорость и направление ветра.....                   | 65 |
| Библиографический список.....                          | 74 |
| Приложения.....  | 75 |

**Физика с основами агрометеорологии. Агрометеорология** : методические указания к лабораторно-практическим занятиям / Л. Е. Кириленко [и др.]. – Горки : БГСХА, 2020. – 76 с.

Приведены темы лабораторно-практических занятий и порядок выполнения заданий в соответствии с учебной программой по агрометеорологии.

Для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 02 01 Агротомия, 1-74 02 02 Селекция и семеноводство, 1-74 02 03 Защита растений и карантин, 1-74 02 04 Плодоовощеводство, 1-74 02 05 Агрохимия и почвоведение.

УДК 551.502.4(072)  
ББК 40.2

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2020

## **ВВЕДЕНИЕ**

Агрометеорологическая информация помогает специалистам сельского хозяйства планировать сельскохозяйственные работы в связи со сложившимися и ожидаемыми погодными условиями, что позволяет ослабить действие неблагоприятных факторов и наиболее эффективно использовать благоприятные метеорологические условия.

В изучении раздела «Агрометеорология» важную роль играют лабораторные работы, так как они дают возможность закрепить теоретические знания по агрометеорологии, полученные на лекциях, при самостоятельном изучении отдельных тем дисциплины. На лабораторных занятиях студенты учатся анализировать метеорологическую и агрометеорологическую информацию, приобретают навыки работы с метеорологическими приборами.

Данные методические указания разработаны таким образом, что студенты в процессе выполнения лабораторных работ знакомятся с метеорологическими приборами, выполняют расчетно-графические работы и производят анализ полученных результатов, применяя теоретические знания по изученной теме и свои способности к логическому мышлению.

## 1. ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ. АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

**Цель работы:** измерение лучистой энергии, падающей на горизонтальную и вертикальную поверхности.

**Приборы и принадлежности:** термоэлектрический актинометр, пиранометр.

Лучистая энергия Солнца – неперенное условие существования зеленых растений. Она необходима для создания органического вещества в процессе фотосинтеза и оказывает влияние на рост и развитие растений, форму, расположение и строение листьев, на продолжительность вегетации, химический состав, качество и количество урожая и на ряд свойств растений – зимостойкость, засухоустойчивость и др.

Лучистая энергия Солнца, являясь основным источником тепла, обуславливает жизнь на Земле во всем ее многообразии. Особо важную роль она играет в биологических процессах.

На растения влияют интенсивность солнечной радиации, спектральный состав ее, продолжительность освещения. Поэтому для ведения сельского хозяйства на высоком научном уровне необходимы сведения о величинах радиационного баланса и его составляющих, фотосинтетически активной радиации (ФАР), продолжительности солнечного сияния и освещенности.

### 1.1. Поток лучистой энергии и единицы измерения

*Прямая радиация*  $S$  – часть солнечного излучения, приходящего на земную поверхность непосредственно от диска солнца. Количество прямой радиации, поступающей в единицу времени на единицу поверхности, перпендикулярной к солнечным лучам, называется *энергетической освещенностью*.

*Инсоляция*  $S'$  – энергетическая освещенность прямой радиации, поступающая на горизонтальную поверхность, она вычисляется по формуле

$$S' = S \cdot \sin h , \quad (1.1)$$

где  $h$  – высота солнца над горизонтом, град.

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

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

$$Q = S' + D. \quad (1.2)$$

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

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

$$A_k = \frac{R_k}{Q} 100. \quad (1.3)$$

Прямая, рассеянная и отраженная радиация составляет коротковолновую радиацию.

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

$$B_k = Q - R_k. \quad (1.4)$$

*Эффективное излучение*. Земля и атмосфера поглощают коротковолновую радиацию, нагреваются и сами непрерывно излучают энергию в окружающее пространство. Это длинноволновая радиация. Разность между земным излучением  $E_3$  и встречным излучением атмосферы  $E_a$  называется эффективным излучением  $E_{эф}$ :

$$E_{эф} = E_3 - E_a. \quad (1.5)$$

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

$$B = S' + D - R_k - E_{эф}. \quad (1.6)$$

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

$$B = E_a - E_z = -E_{эф}. \quad (1.7)$$

*Фотосинтетически активная радиация.* Часть лучистой энергии солнца, которую растения усваивают в процессе фотосинтеза, называется фотосинтетически активной радиацией. Наиболее интенсивно растения поглощают сине-фиолетовые и оранжево-красные лучи с длинами волн 0,38–0,48 и 0,65–0,68 мкм. На практике поступающую от солнца ФАР измеряют фитопиранометром или рассчитывают по данным измерений актинометра и пиранометра.

Для расчета ФАР используют уравнение, предложенное Б. И. Гуляевым, Х. Г. Тоомингом и Н. А. Ефимовой:

$$\sum Q_{ФАР} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D, \quad (1.8)$$

где  $\sum S'$  – сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>.

В процессе фотосинтеза на создание органического вещества в обычных посевах используется 1,5–3 % ФАР. При оптимальной структуре, минеральном и водном питании посевы могут использовать до 8–10 % ФАР.

*Энергетическая освещенность* выражается в ваттах на один квадратный метр (Вт/м<sup>2</sup>). В практической актинометрии до недавнего времени энергетическая освещенность выражалась в калориях за одну минуту на один квадратный сантиметр (кал/(мин · см<sup>2</sup>)). Соотношение между единицами измерений следующее: 1 кал/(мин · см<sup>2</sup>) = 698 Вт/м<sup>2</sup>.

*Сумма радиации*, поступающей на единицу площади за тот или иной промежуток времени, измеряется в джоулях на один квадратный метр или в мегаджоулях на один квадратный метр (1 кал/см<sup>2</sup> = 4,19 · 10<sup>4</sup> Дж/м<sup>2</sup>).

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

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

Освещенность складывается из прямого, рассеянного и отраженного солнечного света. Измеряется она в люксах (лк). Для фотосинтетической деятельности посевов большинства культурных растений оптимальные условия освещенности соответствуют 8000–12000 лк. Особенно чувствительны растения к освещенности в период цветения и плодоношения.

## 1.2. Методы измерения лучистой энергии

Для измерения энергетической освещенности применяются актинометрические приборы различной конструкции. Все они подразделяются на абсолютные и относительные.

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

Приемником термоэлектрических приборов служат термобатареи из спаев двух металлов. Разность температур спаев создается в результате их различной поглощательной способности или помещения спаев в разные радиационные условия.

В термоэлектрическом приемнике (рис. 1.1) спай 1 покрывается платиновой чернью или сажей, а спай 2 – окисью магния (белый цвет). В термозвездочке (рис. 1.2) одни спаи облучаются (спай 2), другие – затеняются (спай 3). В результате неодинакового нагревания спаев создается разность температур и в цепи возникает термоток, который измеряется гальванометром.

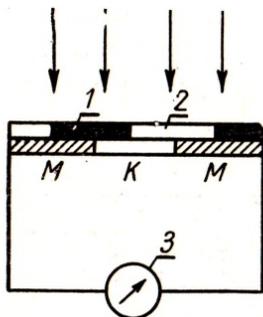


Рис. 1.1. Схема термоэлектрического приемника:

- 1 – зачерненный спай;
- 2 – белый спай;
- 3 – гальванометр

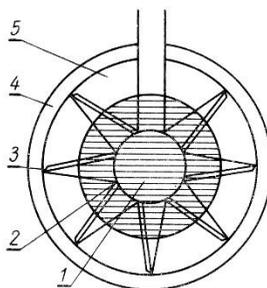


Рис. 1.2. Схема термозвездочки актинометра:

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

Так как разность температур спаев обусловлена поступающей радиацией, то энергетическая освещенность будет пропорциональна силе термоэлектрического тока:

$$S = a \cdot N, \quad (1.9)$$

где  $N$  – отклонение стрелки гальванометра, дел.;

$a$  – переводный множитель, Вт/(м<sup>2</sup>·дел.).

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

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

$$a = \frac{\alpha}{1,43k} (R_6 + R_r + R_{доб}), \quad (1.10)$$

где  $a$  – переводный множитель;

$\alpha$  – цена деления шкалы гальванометра, мкА;

$k$  – чувствительность термоэлектрического прибора, мВ/Вт/м<sup>2</sup>;

$R_6$  – сопротивление термобатареи, Ом;

$R_r$  – внутреннее сопротивление гальванометра, Ом;

$R_{доб}$  – добавочное сопротивление гальванометра, Ом.

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

Для измерений интенсивности прямой солнечной радиации используют актинометры: а) рассеянной и суммарной радиации – пиранометры; б) отражательной способности – альбедометры; в) радиационного баланса – балансомеры.

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

Отсчеты по гальванометру производят с точностью до 0,1 деления шкалы гальванометра, а шкаловую поправку в показания гальваномет-

ра вводят в том случае, если ее значение не меньше 0,5 деления шкалы. Радиационный баланс и его составляющие вычисляют с точностью до 0,01 Вт/м<sup>2</sup>.

### 1.3. Измерение прямой радиации

Для измерения прямой солнечной радиации наибольшее распространение получил *термоэлектрический актинометр М-3 (АТ-50)*.

Устройство актинометра. Приемником актинометра служит диск 1 из серебряной фольги (см. рис. 1.2). Со стороны, обращенной к солнцу, диск зачернен, а с другой стороны к нему подклеены через изоляционную бумажную прокладку внутренние спай 2 термовездочки из марганца и константана. Внешние спай 3 термовездочки через изоляционную бумажную прокладку 5 подклеены к медному диску 4, зажатому в массивном медном корпусе со скобами, к которым присоединены выводы термобатареи и мягкие провода 9 (рис. 1.3). Корпус со скобами закрыт кожухом 10, закрепленным гайкой 8, и соединен винтом 12 с медной трубкой 15.

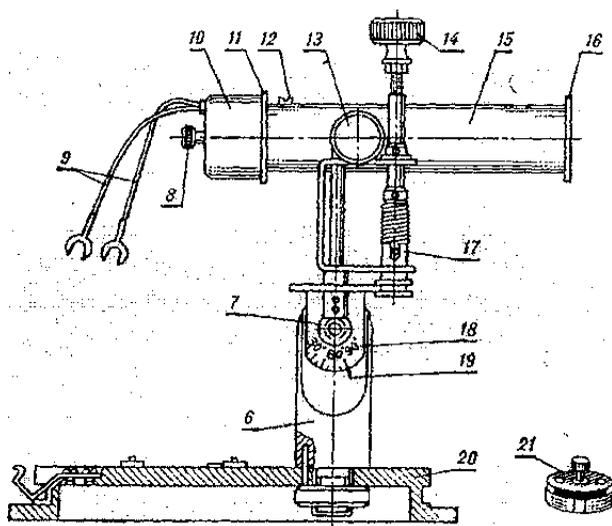


Рис. 1.3. Термоэлектрический актинометр М-3:  
 1-5 – см. рис. 1.2; 6 – стойка; 7, 12, 13 – винты; 8 – гайка;  
 9 – провода; 10 – кожух; 11, 16 – кольца; 14 – рукоятка;  
 15 – трубка; 17 – штатив; 18 – шкала широт; 19 – риска;  
 20 – плата; 21 – крышка

Внутри трубки имеется пять диафрагм, расположенных в порядке уменьшения их диаметра от 20 до 10 мм по направлению к корпусу. Диафрагмы удерживаются распоркой и пружинящей шайбой, установленными между корпусом и наименьшей диафрагмой. С внутренней стороны диафрагмы зачернены.

На концах трубки расположены кольца *11* и *16*, имеющие приспособление для нацеливания актинометра на солнце. На кольце *16* есть отверстие, а на кольце *11* – точка. При правильной установке пучок света, проходящий через отверстие, должен точно падать на точку кольца *11*. Трубка закрывается съемной крышкой *21*, которая служит для определения нулевого положения стрелки гальванометра и защищает приемник от загрязнения.

Трубка *15* соединяется со стойкой *б*, укрепленной на плате *20* параллактическим штативом *17* с рукояткой *14*. Для установки оси штатива соответственно широте места служат шкала *18*, риска *19* и винт *7*.

Установка. Вначале ось штатива устанавливают по широте места наблюдений. Для этого, ослабив винт *7*, поворачивают ось штатива до совпадения деления шкалы *18*, соответствующего данной широте, с риской *19* и закрепляют ось в этом положении. Затем актинометр устанавливают на горизонтальной подставке так, чтобы стрелка на плате была направлена на север. Затем приемник ориентируют на солнце. Достигается это ослаблением винта *13* и вращением рукоятки *14* до тех пор, пока пучок света через отверстие кольца *16* не попадет на точку кольца *11*.

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

Измерения. За 1 мин до начала измерений проверяют наведение приемника актинометра на солнце. После этого крышку закрывают и по гальванометру делают отсчет нулевого положения стрелки  $N'_0$ . Затем снимают крышку, проверяют точность нацеливания на солнце, три раза отсчитывают показания гальванометра с интервалом в 10–15 с ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ) и, закрыв крышку, через 1–2 мин еще раз отсчитывают нулевое положение стрелки гальванометра  $N''_0$ . После измерений прибор закрывают крышкой футляра. Данные измерений заносят в табл. 1.1.

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

$$N_0 = \frac{N'_0 + N''_0}{2}; \quad (1.11)$$

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}. \quad (1.12)$$

Т а б л и ц а 1.1. Результаты измерений прямой радиации

| Время | Номер отсчета | Отсчеты по гальванометру, дел. |                 | N | S, Вт/м <sup>2</sup> |
|-------|---------------|--------------------------------|-----------------|---|----------------------|
|       |               | места нуля                     | прямой радиации |   |                      |
|       |               |                                |                 |   |                      |
|       |               |                                |                 |   |                      |

Для получения фактического показания гальванометра  $N$  по среднему значению  $\bar{N}$  определяют поправку  $\Delta N$  (табл. 1.2) и вычитают среднее нулевое положение стрелки гальванометра  $N_0$  :

$$N = \bar{N} \pm \Delta N - N_0. \quad (1.13)$$

Т а б л и ц а 1.2. Шкаловые поправки к гальванометру

|               |      |     |     |     |     |     |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Деление шкалы | 5    | 10  | 15  | 20  | 30  | 40  |
| Поправка      | -0,7 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 |

Для выражения прямой радиации  $S$  (в Вт/м<sup>2</sup>) показания гальванометра  $N$  умножают на переводный множитель  $a = 0,03$  по формуле (1.9).

Прямую радиацию на горизонтальную поверхность вычисляют по формуле (1.1).

Высоту солнца над горизонтом  $h$  и  $\sin h$  можно определить по формуле

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \theta, \quad (1.14)$$

где  $\varphi$  – географическая широта места, град;

$\delta$  – склонение солнца;

$\theta$  – часовой угол солнца, представляющий собой истинное солнечное время, считаемое от полудня, град:

$$\theta = 15^\circ (t_{\text{ист}} - 12 \text{ ч}). \quad (1.15)$$

#### 1.4. Измерение рассеянной и суммарной радиации

Для измерения рассеянной и суммарной радиации служит *пиранометр М-80М*.

Устройство пиранометра (рис. 1.4). Приемником пиранометра является квадратная термобатарея 5, состоящая из последовательно спаянных манганиновых и константановых полос, положенных так, что спаи располагаются в середине и на поворотах. С внешней стороны поверхность термобатареи покрыта сажей и магнетизией. Четные спаи термобатареи окрашены в белый цвет, нечетные – в черный. Черные и белые участки расположены в шахматном порядке. Через изоляционную бумажную прокладку термобатарея прикреплена к ребрам плитки, привинченной к корпусу 6. Для подсоединения пиранометра к гальванометру выводы термобатареи подведены к клеммам, расположенным на нижней стороне корпуса. Сверху корпус закрыт стеклянным полусферическим колпаком 7 для защиты термобатареи от ветра и осадков.

Корпус с термобатареей и стеклянным колпаком составляет головку пиранометра, которая привинчена к стойке 4 с откидной платой. Для предохранения термобатареи и стеклянного колпака от возможной конденсации водяного пара внутри стойки имеется стеклянная сушилка с химическим поглотителем влаги (металлический натрий, силикагель и др.).

Откидная плата пружиной 11 соединяется с треногой 12, которая укреплена на основании футляра и имеет два установочных винта 1. При измерении рассеянной или суммарной радиации головку пиранометра устанавливают горизонтально по уровню 2 вращением винтов 1. Для затенения головки пиранометра от прямых солнечных лучей служит теневой экран, диаметр которого равен диаметру стеклянного колпака. Теневой экран укреплен на трубке 9, которая винтом 10 соединена с горизонтальным стержнем 8.

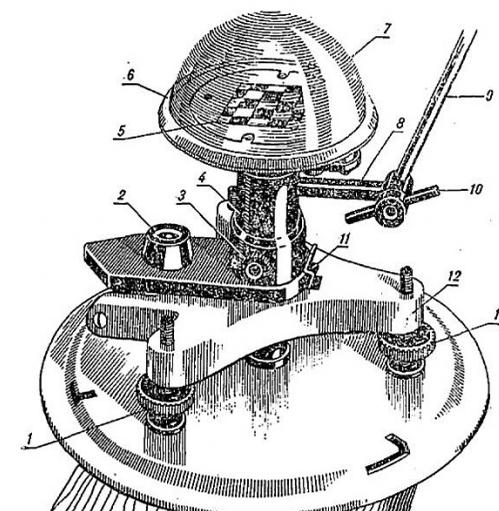


Рис. 1.4. Термоэлектрический пиранометр М-80М:  
 1 – установочные винты; 2 – уровень; 3, 10 – винты;  
 4 – стойка; 5 – термобатарея; 6 – корпус; 7 – стеклянный колпак;  
 8 – стержень; 9 – трубка; 11 – пружина; 12 – тренога

При затенении приемника пиранометра тенью экраном измеряется рассеянная радиация, а без затенения – суммарная. К пиранометру придается металлическая крышка, которой закрывают приемник для определения нулевого показания стрелки гальванометра, а между сроками наблюдений – для защиты колпака от повреждений.

Установка. Прибор устанавливают на открытой площадке на высоте 1,5 м от поверхности участка. Перед наблюдением проверяют наличие осушителя в стеклянной сушилке (1/3 сушилки должна быть заполнена осушителем). Затем трубку с тенью экраном присоединяют к стержню 8.

К солнцу пиранометр поворачивают всегда одной и той же стороной, отмеченной номером на головке. Для поворота головки пиранометра номером к солнцу винт 3 слегка ослабляют, а после поворота – опять закрепляют. Горизонтальность термобатареи проверяют по уровню 2 и в случае нарушения ее регулируют установочными винтами 1.

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

Измерения. Непосредственно перед измерением проверяют правильность установки прибора по уровню и относительно солнца.

Для отсчета нулевого показания гальванометра головку пиранометра закрывают крышкой и записывают показания гальванометра  $N'_0$ . После этого крышку пиранометра снимают и делают серию отсчетов с интервалом в 10–15 с.

**1. Измерение рассеянной радиации.** Для этого при затененном пиранометре делают три отсчета –  $N_1, N_2, N_3$ .

Обработка измерений. Из отсчетов по гальванометру определяют средние значения нулевого положения стрелки гальванометра и средние значения рассеянной радиации по формуле (1.11) и по формуле

$$\bar{N}_D = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}. \quad (1.16)$$

Затем вводят шкаловые поправки  $\Delta N_D$  из поверочного свидетельства гальванометра (табл. 1.3), вычитают нулевое показание стрелки гальванометра и получают исправленные значения  $N_D$  по формуле

$$N_D = \bar{N}_D \pm \Delta N_D - N'_0. \quad (1.17)$$

Для определения рассеянной радиации  $D$  (в Вт/м<sup>2</sup>) показания гальванометра  $N_D$  умножают на переводный множитель  $a = 0,03$ :

$$D = a \cdot N_D. \quad (1.18)$$

Все показания прибора записывают в табл. 1.4.

Т а б л и ц а 1.3. Шкаловые поправки к гальванометру

|               |      |     |     |     |     |     |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Деление шкалы | 5    | 10  | 15  | 20  | 30  | 40  |
| Поправка      | –0,7 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 |

Т а б л и ц а 1.4. Результаты измерений рассеянной радиации

| Время | Номер отсчета | Отсчеты по гальванометру, дел. |                     | $D$ ,<br>Вт/м <sup>2</sup> |
|-------|---------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
|       |               | места нуля                     | рассеянной радиации |                            |
|       |               |                                |                     |                            |
|       |               |                                |                     |                            |

**2. Измерение суммарной радиации.** Для измерения суммарной радиации при незатененном положении (теневого экран опускают ослаблением винта  $10$ , см. рис. 1.4) делают также три отсчета –  $N_4$ ,  $N_5$ ,  $N_6$ . После измерений трубку с теньевым экраном отвинчивают и пиранометр закрывают крышкой футляра. Все показания прибора записывают в табл. 1.5.

Т а б л и ц а 1.5. Результаты измерений суммарной радиации

| Время | Номер отсчета | Отсчеты по гальванометру, дел. |                    | $Q$ ,<br>Вт/м <sup>2</sup> |
|-------|---------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|
|       |               | места нуля                     | суммарной радиации |                            |
|       |               |                                |                    |                            |
|       |               |                                |                    |                            |

Обработка измерений. Из отсчетов по гальванометру определяют средние значения нулевого положения стрелки гальванометра и средние значения суммарной радиации по формуле (1.11) и по формуле

$$\bar{N}_Q = \frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}. \quad (1.19)$$

Затем вводят шкаловые поправки  $\Delta N_Q$  из поверочного свидетельства гальванометра (см. табл. 1.3), вычитают нулевое показание стрелки гальванометра и получают исправленные значения  $N_Q$ :

$$N_Q = \bar{N}_Q \pm \Delta N_Q - N_0. \quad (1.20)$$

Для определения суммарной радиации  $Q$  (в Вт/м<sup>2</sup>) учитывают еще поправочный множитель на высоту солнца  $F_h$ . Этот поправочный множитель дается в поверочном свидетельстве в форме графика: на

оси абсцисс нанесена высота солнца над горизонтом, а по оси ординат – поправочный множитель.

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

$$Q = a \left[ (N_Q - N_D) F_h + N_D \right]. \quad (1.21)$$

### 1.5. Определение альbedo

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

На практике он используется главным образом для определения альbedo деятельности поверхности.

### 1.6. Выполнение работы

1. Изучите устройство, установку и правила измерения термоэлектрического актинометра.

2. Произведите измерения по термоэлектрическому актинометру или пиранометру (по указанию преподавателя).

3. Выполните измерения по термоэлектрическому актинометру:

а) за 1 мин до начала измерений проверьте наведение приемника актинометра на солнце. После этого крышку закройте и по гальванометру сделайте отсчет нулевого положения стрелки  $N'_0$ ;

б) снимите крышку, проверьте точность нацеливания на солнце, три раза отсчитайте показания гальванометра с интервалом в 10–15 с ( $N_1, N_2, N_3$ ). Данные измерений занесите в табл. 1.1;

в) закрыв крышку, через 1–2 мин еще раз отсчитайте нулевое положение стрелки гальванометра  $N''_0$ . После измерений прибор закройте крышкой футляра;

г) из двух отсчетов нулевого положения стрелки гальванометра  $N'_0$  и  $N''_0$  определите средние значения с точностью до 0,1 по формуле (1.11);

д) из трех отсчетов показаний гальванометра  $N_1, N_2$  и  $N_3$  определите средние значения  $\bar{N}$  с точностью до 0,1 по формуле (1.12);

е) определите поправку  $\Delta N$  по среднему показанию гальванометра (в делениях шкалы) с помощью табл. 1.2;

ж) рассчитайте фактическое показание гальванометра  $N$  по формуле (1.13), используя результаты расчетов по формулам (1.11), (1.12) и значение поправки  $\Delta N$ ;

з) выразите прямую радиацию  $S$  (в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), умножив показания гальванометра  $N$  на переводный множитель  $a = 0,03$ , по формуле (1.9).

4. Изучите устройство, установку термоэлектрического пиранометра.

5. Выполните измерения по термоэлектрическому пиранометру:

а) перед измерением проверьте правильность установки прибора по уровню и относительно солнца;

б) для отсчета нулевого показания гальванометра головку пиранометра закройте крышкой и запишите показания гальванометра  $N'_0$ ;

в) крышку пиранометра снимите и сделайте при затененном пиранометре три отсчета:  $N_1, N_2, N_3$  с интервалом в 10–15 с. Результаты измерений занесите в табл. 1.4;

г) закройте крышку пиранометра и сделайте еще один отсчет нулевого положения стрелки  $N''_0$ ;

д) из отсчетов по гальванометру определите средние значения нулевого положения стрелки гальванометра по формуле (1.11);

е) определите средние значения рассеянной радиации из отсчетов по гальванометру  $N_1, N_2, N_3$  по формуле (1.16);

ж) определите шкаловую поправку  $\Delta N_D$  из поверочного свидетельства гальванометра (см. табл. 1.3);

з) по формуле (1.17) найдите исправленные значения  $N_D$  с учетом значений, полученных по формулам (1.11) и (1.16), и шкаловой поправки  $\Delta N_D$ ;

и) для определения рассеянной радиации  $D$  (в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) показания гальванометра  $N_D$  умножьте на переводный множитель  $a = 0,03$  по формуле (1.18).

Все результаты расчетов занесите в табл. 1.4.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение основным потокам лучистой энергии.
2. Что понимают под радиационным балансом деятельной поверхности и как он определяется?
3. Какое излучение называется эффективным?

4. Дайте определение фотосинтетически активной радиации (ФАР) и запишите формулу для ее расчета.
5. В каких единицах измеряется лучистая энергия?
6. Какие величины следует измерить, чтобы вычислить альбедо?
7. Назовите приборы для измерения солнечной радиации и объясните принцип их действия.

## **2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА**

**Цель работы:** изучение устройства и правил установки термометров, применяемых для измерения температуры почвы и воздуха.

**Приборы и принадлежности:** термометры, мерзлотомер.

### **2.1. Виды термометров**

Для измерения температуры воздуха и почвы наибольшее применение имеют жидкостные, термоэлектрические, деформационные термометры и электротермометры сопротивления.

**Жидкостные термометры** основаны на принципе изменения объема жидкости с изменением температуры. В качестве жидкости в таких термометрах чаще всего используют ртуть или спирт.

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

В показания жидкостных термометров необходимо вводить шкаловые поправки, которые указаны в поверочном свидетельстве каждого термометра. Термометры для измерения температуры воздуха устанавливают в защитной психрометрической будке БП-1 (рис. 2.1). Стенки психрометрической будки 1 состоят из двойных жалюзи, расположенных одна над другой на расстоянии 25 мм под углом 45° к горизонтальной плоскости. Жалюзийные стенки защищают термометры от прямого попадания солнечных лучей и вместе с тем не препятствуют свободному доступу воздуха. Одна из жалюзийных стенок укреплена на петлях и открывается (дверца). Потолок будки сплошной, но для уменьшения нагревания над потолком укреплена крыша, имеющая небольшой наклон. Дно будки состоит из трех досок. Сред-

ная доска укреплена немного выше крайних и перекрывает зазор между ними.

Будка ориентируется дверцей на север, чтобы во время измерения на термометры не падали солнечные лучи, и укрепляется на подставке 2 высотой 175 см. Для удобства отсчетов около будки устанавливают лесенку 3. Для уменьшения нагрева будку, подставку и лесенку окрашивают в белый цвет.

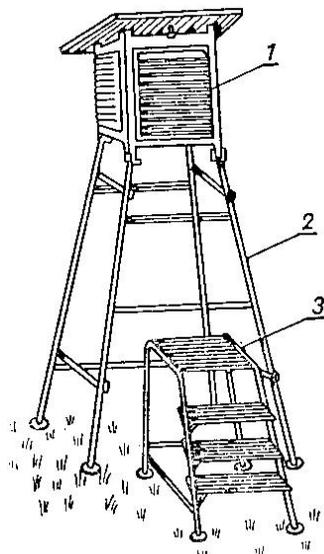


Рис. 2.1. Психрометрическая будка БП-1:  
1 – будка; 2 – подставка; 3 – лесенка

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

Измерения. На время измерений открывают дверцу будки и по возможности быстро отсчитывают показания термометров с точно-

стью до  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в таком порядке: сухой, смоченный, минимальный (спирт), максимальный, минимальный (штифт). После этого максимальный термометр встряхивают, а штифт минимального термометра подводят к мениску спирта. Для большей точности по всем термометрам вначале отсчитывают десятые доли, а потом целые градусы.

На агрометеопостах для установки термометров может быть использована более простая защита – будка Селянинова (рис. 2.2). Она меньше размером и стенки ее состоят из одного ряда жалюзи. На специальной деревянной подставке в ней располагают горизонтально три термометра: срочный, максимальный и минимальный. Будку Селянинова устанавливают так, чтобы резервуары термометров были на высоте 1,5 м от почвы. Будку и подставку окрашивают в белый цвет.

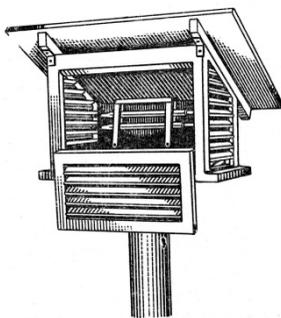


Рис. 2.2. Будка Селянинова

Температуру воздуха среди растений измеряют аспирационным психрометром, который приспособлен для работы в полевых условиях.

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

**Электротермометры сопротивления** основаны на принципе изменения электрического сопротивления материалов. Датчики термометров сопротивления могут быть металлическими, проволочными и полупроводниковыми. Термометры сопротивления широко применя-

ются для дистанционных измерений. Инерция их мала (есть приборы с инерцией около 1 с), погрешность измерения – около 0,2 °С.

**Деформационные термометры** основаны на принципе измерения линейных размеров твердых тел с изменением температуры. Приемником таких термометров является биметаллическая пластинка или пружина из инвара и стали. Инерция деформационных термометров составляет 3–10 мин, а погрешность измерения – не менее 0,5 °С.

## 2.2. Измерение температуры поверхности почвы

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

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

**Максимальный термометр ТМ-1** служит для измерения самой высокой (максимальной) температуры за период между сроками наблюдений. Максимальный термометр – ртутный с цилиндрическим резервуаром. Цена деления шкалы равна 0,5 °С. Рабочее положение термометра горизонтальное (резервуар слегка опущен). Максимальные показания термометра сохраняются благодаря наличию штифта 2, укрепленного ко дну резервуара 1, создающего сужение при выходе из резервуара в капилляр 3 (рис. 2.3).

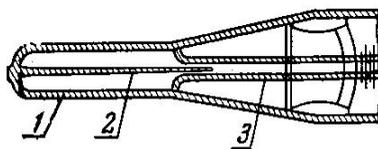


Рис. 2.3. Приспособление для сохранения максимальных показаний термометра:

1 – резервуар; 2 – штифт; 3 – капилляр

При повышении температуры ртуть из резервуара поднимается по капилляру за счет силы расширения ртути, которая превышает силы трения в месте сужения. При понижении температуры ртуть из капилляра не может вернуться в резервуар, так как силы трения в месте

сужения значительно больше сил молекулярного сцепления. В результате этого в месте сужения происходит разрыв ртути и таким образом фиксируется максимальное значение температуры за данный промежуток времени.

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

**Минимальный термометр ТМ-2** применяется для измерения самой низкой температуры за период между сроками наблюдений.

Это термометр спиртовой с ценой деления  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Рабочее положение горизонтальное. Резервуар термометра цилиндрический или в виде вилки. Минимальные показания термометра определяют по находящемуся в капилляре 1 внутри спирта легкому штифтику 2, изготовленному из темного стекла с утолщениями на концах (рис. 2.4). При подъеме резервуара штифтик свободно перемещается в спирте, но не выходит из него, так как не может прорвать поверхностную пленку, ограничивающую мениск спирта 3.

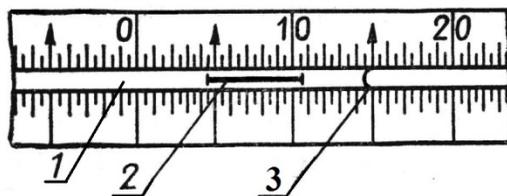


Рис. 2.4. Приспособление для отсчета минимальных показаний термометра:

1 – капилляр; 2 – штифтик; 3 – мениск спирта

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

Летом при высоких температурах почвы минимальный термометр может выйти из строя, поэтому на день его убирают, предварительно отсчитав показания по спирту и штифтику.

**Установка термометров.** На метеорологических станциях и полах термометры для измерения температуры поверхности почвы устанавливают на открытой площадке размером 4×6 м (рис. 2.5). Предварительно с площадки удаляют растительный покров и взрыхляют ее. Все три термометра размещают в середине площадки резервуарами на восток на расстоянии 10–15 см друг от друга в небольших углублениях, сделанных легким вдавливанием термометров в почву, чтобы резервуары и наружная оболочка термометров были наполовину углублены в почву и резервуары плотно прикоснулись к почве.

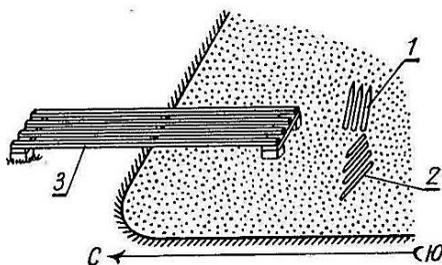


Рис. 2.5. Площадка для установки термометров

Срочный и минимальный термометры устанавливают горизонтально 1, а максимальный – с небольшим уклоном в сторону резервуара 2, чтобы ртуть в капилляре не отходила от резервуара. Перед установкой в минимальном термометре штифтик подводят к мениску спирта поворотом термометра резервуаром вверх, а максимальный термометр встряхивают. Для этого его берут за середину и делают несколько взмахов рукой. После встряхивания показания термометра должны быть близкими к показаниям срочного. Чтобы не уплотнять почву около термометров, для подхода к ним во время измерений с северной стороны кладут реечный настил 3. В полевых условиях термометры могут быть установлены на паровом поле, а для изучения термического режима среди растений – в междурядьях.

**Измерения.** Отсчеты производят с точностью до 0,1 °С на глаз. Вначале отсчитывают показания срочного термометра, затем – минимального и максимального.

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

### 2.3. Измерение температуры почвы на глубинах

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

**Коленчатые термометры (Савинова) ТМ-5** предназначены для измерения температуры почвы в теплый период на глубинах 5, 10, 15, 20 см (пахотного слоя). В комплект входят четыре термометра, отличающихся по длине нижней части. Коленчатые термометры – ртутные с ценой деления 0,5 °С. Резервуары термометров цилиндрические. Несколько выше резервуара термометры изогнуты под углом 135° (рис. 2.6).

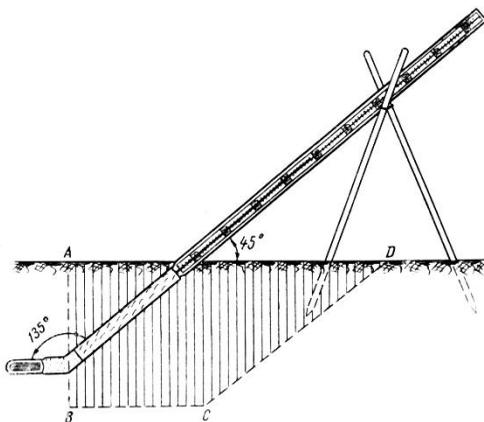


Рис. 2.6. Установка коленчатых термометров

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

Установка. Коленчатые термометры устанавливают на одной площадке с термометрами для измерения температуры поверхности почвы (см. рис. 2.5). Выступающие из почвы части термометров располагают с востока на запад в порядке возрастания глубин на расстоянии около 10 см друг от друга.

Для установки коленчатых термометров выкапывают траншею в виде трапеции ABCD. Направление ее не точно по линии восток – запад, а с отклонением от этой линии к северу примерно на 30°. Одна сторона АВ траншеи отвесная. В ней на заданной глубине делают углубления, параллельные поверхности почвы. В эти углубления вдавливают резервуары термометров до самого изгиба. Для контроля установки проверяют угол наклона выступающей части термометров к поверхности почвы. Этот угол должен быть равен 45°. Затем траншею засыпают землей, сохраняя последовательность вынутых пластов, и для устойчивости выступающую часть термометров подпирают рогаткой.

Отсчеты по термометрам производят с точностью до 0,1 °С.

**Термометр-шуп АМ-6** служит для измерения температуры почвы в полевых условиях на глубине от 3 до 40 см (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Термометр-шуп АМ-6:

- 1 – ручка; 2 – термометр;
- 3 – прорезь; 4 – оправа;
- 5 – прокладка; 6 – наконечник

Термометрическая жидкость в термометре – толуол. Термометр 2 с ценой деления 1,0 °С помещается в металлическую оправу 4, нижний конец которой заострен в виде конусообразного наконечника 6. В нем находится резервуар термометра. Чтобы тепло не передавалось от оправы к резервуару термометра, наконечник изолирован от остальной части оправы эбонитовой прокладкой 5. Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра его резервуар погружен в медные опилки.

В верхней части оправы имеется прорезь 3, через которую видна шкала термометра. На противоположной стороне оправы нанесены деления в сантиметрах для определения глубины установки термометра (нуль шкалы совпадает с местом расположения резервуара). Верхний конец оправы заканчивается ручкой 1, слу-

жащей для упора при погружении термометра в почву.

Установка. Для наблюдений термометр вертикально устанавливают в почву на заданную глубину. Если почва уплотнена, то вначале делают скважину стержнем соответствующего диаметра на глубину несколько меньше необходимой, а затем в эту скважину опускают термометр, вдавливая его до заданной глубины.

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

Термометр-щуп переносят и хранят в вертикальном положении.

**Вытяжные термометры ТПВ-50.** Предназначены для измерений почвы на глубинах 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240 и 320 см. Они могут использоваться в хозяйствах для измерения температуры в силосных ямах и буртах.

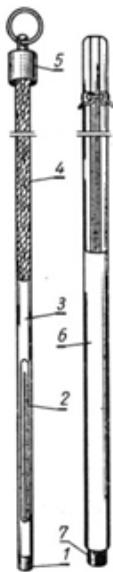


Рис. 2.8. Термометр вытяжной:  
1, 7 – металлические колпачки;  
2 – термометр; 3 – оправа;  
4 – деревянный шест;  
5 – колпачок с кольцом;  
6 – эбонитовая трубка

На каждой глубине применяют ртутный термометр с ценой деления 0,2 °С. Термометр 2 помещают в специальную оправу 3 с металлическим колпачком 1 (рис. 2.8).

Для лучшего теплового контакта пространство между резервуаром термометра и стенками колпачка заполнено медными опилками. Оправа с термометром крепится на деревянном шесте 4, длина которого зависит от глубины установки термометра. Шест заканчивается колпачком 5 с кольцом.

Деревянный шест с укрепленным на нем термометром в оправе опускают в пластмассовую или эбонитовую трубку 6, имеющую на нижнем конце металлический колпачок 7. Такие трубы, обладающие плохой теплопроводностью, сводят к минимуму обмен теплом между верхними слоями почвы и термометром. Резервуар термометра воспринимает температуру только того слоя почвы, на котором находится металлический колпачок.

При опускании термометра в трубку 6 нужно рассчитать, чтобы он только слегка касался доньшка металлического колпачка 7. Основной упор термометра должен приходиться на колпачок 5, который одновременно закрывает трубу сверху.

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

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

После установки труб в них опускают термометры. Чтобы почва вокруг термометров не уплотнялась, отсчет по ним производят со специального откидного помоста, расположенного с северной стороны от термометров на расстоянии 30 см, на одном уровне с верхним концом труб (рис. 2.9). В период между измерениями помост должен находиться в вертикальном положении.

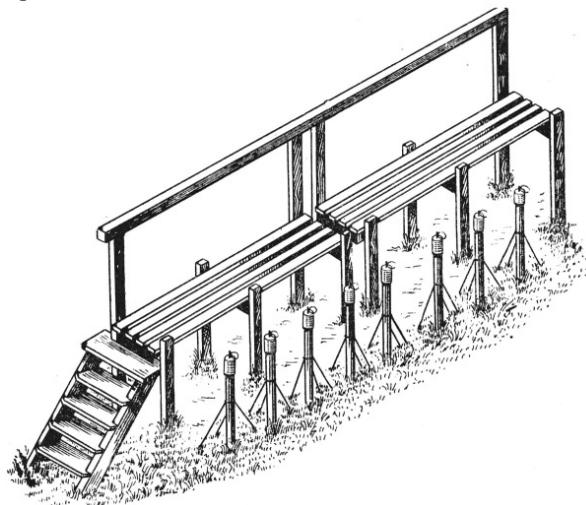


Рис. 2.9. Установка вытяжных термометров

Измерения. Термометр вынимают из трубы за кольцо и быстро отсчитывают показания. Рекомендуется вначале отсчитать десятые доли, а потом целые градусы. Отсчеты по термометрам, расположенным на глубине 80 см и более, производят только один раз в сутки, так как с этой глубины суточные колебания температур затухают. В показания термометров вводят шкаловые поправки.

## 2.4. Измерение глубины промерзания почвы

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

**Мерзлотомер АМ-21** (рис. 2.10) состоит из резиновой трубки 2 длиной 150 или 300 см, на которой нанесены деления (цена деления 1 см) с нулем у верхнего конца, и водонепроницаемой защитной трубки 1, закрытой с нижнего конца. В верхней части трубы, которая выступает из почвы, нанесены деления в сантиметрах для определения высоты снежного покрова.

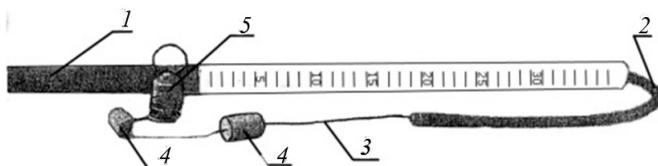


Рис. 2.10. Мерзлотомер АМ-21:  
1 – защитная трубка; 2 – резиновая трубка; 3 – шнур;  
4 – пробки; 5 – колпачок с кольцом

Резиновая трубка заполняется дистиллированной водой, с обоих концов закрывается капроновыми пробками. Внутри трубки проходит капроновый шнур с узелками, препятствующий передвижению образовавшегося в ней столбика льда. Верхний конец трубки присоединяется с помощью шнура 3, деревянной или пластмассовой штанги к колпачку 5 с кольцом, который плотно закрывает защитную трубку 1.

Если трубка соединяется с колпачком шнуром, то на него надевают теплоизоляционные пробки 4.

Установка. Мерзлотомер устанавливают в почву за 2–3 недели до начала заморозков на площадке около вытяжных термометров и на посевах озимых не более чем в 2–3 м от места установки термометров АМ-17 или АМ-2М-1. Вначале устанавливают в заранее подготовленную скважину защитную трубу так, чтобы нулевое деление ее совпало с поверхностью почвы. Зазоры между стенкой скважины и трубой плотно засыпают землей. Для прочности защитную трубку укрепляют растяжками. После этого в защитную трубу опускают резиновую трубку, заполненную водой и присоединенную к колпачку.

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

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

## **2.5. Выполнение работы**

1. Изучите устройство психрометрической будки и будки Селянинова для установки термометров.

2. Изучите устройство срочного термометра ТМ-3, минимального ТМ-2, максимального ТМ-1 для измерения температуры поверхности почвы и воздуха, правила их установки, измерений и обработки данных.

3. Изучите устройство коленчатых термометров ТМ-5, термометра-щупа АМ-6, вытяжных термометров ТПВ-50 для измерения температуры почвы на различных глубинах в стационарных и полевых условиях, правила их установки, измерений и обработки данных.

4. Изучите устройство мерзлотомера АМ-21 для измерения глубины промерзания почвы. Освойте правила установки и измерений по прибору.

## **Контрольные вопросы**

1. Из каких основных частей состоит термометр?
2. Назовите виды термометров.

3. Какими жидкостями пользуются для наполнения термометров?
4. В каких случаях следует пользоваться спиртовыми термометрами?
5. Как устроен максимальный термометр и как он устанавливается?
6. Как устроен минимальный термометр и как он устанавливается?
7. Какие термометры применяются для измерения температуры почвы?
8. Как устанавливаются почвенные термометры?
9. Как определяется глубина промерзания почвы?

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

**Цель работы:** определение основных характеристик влажности воздуха.

**Приборы и принадлежности:** аспирационный психрометр, волосяной гигрометр.

#### 3.1. Оценка влажности воздуха

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

*Абсолютная влажность  $a$*  – масса водяного пара, содержащаяся в единице объема воздуха. Выражается она в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический метр.

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

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

$$a = \frac{0,86e}{1 + \alpha t}, \quad (3.1)$$

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

Парциальное давление водяного пара может возрастать до определенного предела, который соответствует парциальному давлению водяного пара, находящегося в равновесии с плоской поверхностью во-

ды, и называется *давлением насыщенного водяного пара*  $E$ . Вычисленные значения давления насыщенного водяного пара над плоской поверхностью чистой воды и чистого льда для различных температур воздуха приведены в прил. 1.

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

$$f = \frac{e}{E} 100. \quad (3.2)$$

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

$$d = E - e. \quad (3.3)$$

*Точка росы*  $t_d$  – температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, при неизменном давлении достигает насыщения относительно плоской поверхности чистой воды или льда ( $e = E$ ). Для определения точки росы может быть использовано прил. 1. В этом случае по таблице находят значение температуры, соответствующее парциальному давлению водяного пара.

### 3.2. Методы измерения влажности воздуха

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

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

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

$$e = E'_в - Ap(t - t') . \quad (3.4)$$

Если же на батисте находится лед, то применяют формулу

$$e = E'_л - Ap(t - t') , \quad (3.5)$$

где  $E'_в$ ,  $E'_л$  – давление насыщенного водяного пара над плоской поверхностью чистой воды и чистого льда при температуре смоченного термометра, гПа;

$p$  – атмосферное давление, гПа;

$t$ ,  $t'$  – температура сухого и смоченного термометров, °С;

$A$  – психрометрический коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха около резервуара смоченного термометра (для стационарного психрометра  $A = 0,0007947 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , для аспирационного психрометра  $A = 0,000662 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

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

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

Аспирационный психрометр (рис. 3.1) состоит из двух одинаковых психрометрических термометров ТМ-6 10 и 11 с резервуарами цилиндрической формы. Резервуар термометра 11 (смоченного) обвязан батистом, обрезанным непосредственно под резервуаром. Термометры закреплены в оправе, состоящей из трубки 9, переходящей в тройник 13, и защитных планок 12. К тройнику с помощью изоляционных пластмассовых втулок 14 присоединены двойные трубки 15 и 16, в которых находятся резервуары термометров. Чтобы уменьшить теплопередачу от наружных трубок, внутренние трубки в верхней части опираются на наружные через изоляционные кольца. Двойные трубки обеспечивают защиту резервуаров от нагревания солнечными лучами.

Верхний конец трубки 9 соединен с головкой асиратора 8, обеспечивающего всасывание наружного воздуха и обтекание его вокруг резервуаров термометров со скоростью 2 м/с. Пружина асиратора заводится ключом 6. Для лучшего отражения солнечных лучей металлические части прибора никелированы. Благодаря изоляции резервуаров термометров от корпуса, хорошей никелировке его металлических поверхностей и постоянной скорости движения воздуха, асирационный психрометр не требует дополнительной защиты от действия солнечных лучей и ветра. Лишь при больших скоростях ветра за счет затруднения выброса воздуха нарушается скорость асирации. Для устранения этого влияния применяют ветровую защиту 4, которую надевают с наветренной стороны на головку асиратора. Смачивание батиста производится из резиновой груши 1 со стеклянной пипеткой 3 и зажимом 2; груша наполняется дистиллированной водой. Для установки психрометра прилагается крюк-подвес 5.

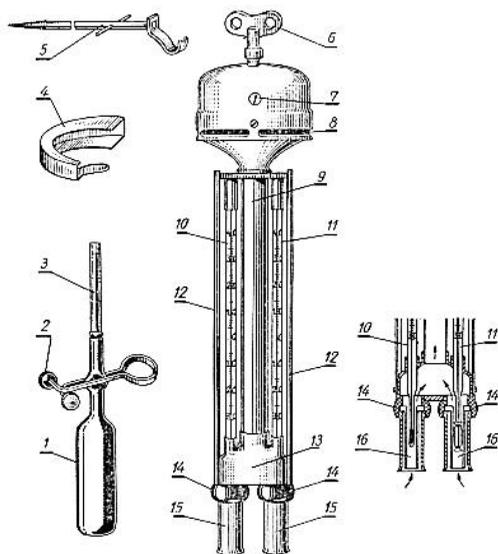


Рис. 3.1. Асирационный психрометр МВ-4М:  
 1 – резиновая груша; 2 – зажим; 3 – пипетка;  
 4 – ветровая защита; 5 – крюк-подвес; 6 – ключ;  
 7 – окошечко; 8 – головка асиратора;  
 9 – трубка; 10, 11 – сухой и смоченный термометры;  
 12 – защитные планки; 13 – тройник; 14 – изоляционные  
 втулки; 15, 16 – трубки

При работе с аспирационным психрометром необходимо следить за сохранностью его никелировки, исправностью аспиратора и трубок, предохраняющих резервуары. После наблюдений прибор следует протирать замшей или чистой тряпкой и хранить в футляре. Периодически необходимо проверять скорость аспирации. Осуществляется это путем определения скорости вращения барабана с заводной пружиной. С этой целью заводят пружину и, наблюдая в окошечко 7 головки аспиратора, ожидают появления метки, сделанной на барабане для проверки психрометра. В момент появления метки аспиратор задерживают кусочком картона. Затем пружину заводят еще раз и аспиратор пускают одновременно с секундомером. Когда в окошке вторично появится метка, секундомер останавливают и отмечают время полного оборота.

Если полученное время оборота барабана отличается от времени, указанного в поверочном свидетельстве не более чем  $\pm 5$  с, прибор исправлен. В среднем барабан делает полный оборот за 80–95 с.

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

Установка. В стационарных условиях прибор подвешивают на специальном столбе (резервуары термометров должны находиться на высоте 2 м) с наветренной стороны. Наблюдатель при измерении должен подходить с подветренной стороны, т. е. так, чтобы ветер был направлен от прибора к наблюдателю. В полевых условиях психрометр подвешивают на тонком шесте, закрепленном в почве, или кладут горизонтально на козлы. При горизонтальной установке прибора необходимо следить, чтобы прямые солнечные лучи не попадали на резервуары термометров. При скорости ветра более 3 м/с во время наблюдений на аспиратор надевают с наветренной стороны защиту.

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

Измерения. Аспирационный психрометр выносят на место измерений: зимой за 30 мин, а летом за 15 мин до начала наблюдений, смачивают батист дистиллированной водой из резиновой груши: зимой за 30 мин, летом за 4 мин до отсчета. Для смачивания, ослабив зажим 2, поднимают воду из груши в стеклянную пипетку 3 до указанной на ней черты и осторожно вводят пипетку на 3–5 с в трубку, в которой находится резервуар смоченного термометра. Затем воду из пипетки опускают и пипетку вынимают из трубки. После этого ключом 6 заводят до отказа пружину аспиратора. Так как во время отсчета аспиратор

должен работать полным ходом, то зимой (за 4 мин до отсчета) пружину аспиратора заводят вторично. Отсчеты производят быстро. Сначала отсчитывают десятые доли сухого и смоченного термометров, а потом – целые градусы.

Вычисление величин влажности воздуха по показаниям аспирационного психрометра выполняется так же, как и по показаниям станционного.

**Волосной гигрометр МВ-1** (рис. 3.2) применяется для измерения относительной влажности воздуха. При температуре воздуха ниже  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  он является основным прибором для измерений влажности воздуха.

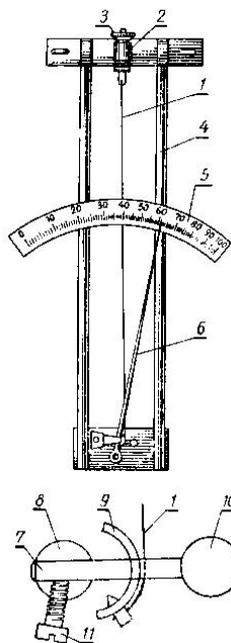


Рис. 3.2. Волосной гигрометр МВ-1:  
 1 – волос; 2 – регулировочный винт;  
 3 – контргайка; 4 – рама; 5 – шкала;  
 6 – стрелка; 7 – стержень; 8 – ось; 9 – кулачок;  
 10 – грузик; 11 – винт

Приемной частью гигрометра служит обезжиренный человеческий волос 1, натянутый на металлическую раму 4. Верхний конец закреплен в хвостовике регулировочного винта 2 с контргайкой 3, а нижний связан со стрелкой 6. Он закреплен в отверстии кулачка 9, насаженно на стерженек 7 с грузиком 10. Стерженек, в свою очередь, закреп-

лен винтом 11 в отверстии оси 8, на которой находится стрелка 6. Под действием изменения длины волоса и грузика, поддерживающего волос в натянутом состоянии, стрелка вместе с осью поворачивается и фиксирует изменения относительной влажности воздуха на шкале 5 с делением от 0 до 100 % (цена одного деления 1 %). Так как волос меняет свою длину с изменением влажности неравномерно, то и деления на шкале имеют неравные промежутки: в начале шкалы они больше, чем в конце.

Установка. Волосной гигрометр устанавливают на штативе в психрометрической будке между сухим и смоченным термометрами. Перед подготовкой гигрометра к работе стрелку устанавливают соответственно показаниям психрометра.

Для этого строят график по ежедневным отсчетам психрометра и волосного гигрометра в течение одного месяца до наступления морозов: по оси абсцисс откладывают относительную влажность по психрометру.

Если данные измерений и состояние гигрометра были удовлетворительными, то все точки, соответствующие влажности воздуха по психрометру и гигрометру, располагаются узкой полосой, среди которых проводят плавную линию с углом наклона к осям координат почти  $45^\circ$ .

Исправленные значения влажности воздуха при измерениях в зимнее время находят по графику с помощью указанной линии зависимости или по таблице, составленной на основании данных, снятых с графика. В этой таблице показания гигрометра даны в левой крайней графе (десятки) и верхней горизонтальной строке (единицы). Исправленное значение влажности воздуха определяется на пересечении десятков и единиц влажности воздуха по гигрометру. Допустим, отсчет по гигрометру составляет 75 %. Исправленное значение относительной влажности воздуха (по таблице) будет равно 73 %. Для этого освобождают контргайку 3 и поворотом регулировочного винта 2 перемещают стрелку на заданное деление. После этого регулировочный винт снова закрепляют контргайкой. Регулировка гигрометра производится только при высокой влажности воздуха (больше 70 %).

Измерения производят с точностью до 1 %. Для контроля исправности прибора стрелку отводят немного влево. Если стрелка возвращается в первоначальное положение, прибор работает нормально. Волосной гигрометр – относительный прибор. Поэтому его показания сравнивают с показаниями психрометра.

### 3.3. Выполнение работы

1. Изучите устройство, установку и правила наблюдений по аспирационному психрометру.

2. Проведите измерения по аспирационному психрометру:

а) аспирационный психрометр выносят на место измерений: зимой за 30 мин, а летом за 15 мин до начала наблюдений или производят измерения в помещении (по указанию преподавателя);

б) смочите батист смоченного термометра дистиллированной водой из резиновой груши (зимой за 30 мин, летом за 4 мин до отсчета);

в) включите прибор в электросеть. Если аспиратор пружинный, то ключом *б* заводят до отказа пружину аспиратора. Так как во время отсчета аспиратор должен работать полным ходом, то зимой (за 4 мин до отсчета) пружину аспиратора заводят вторично;

г) быстро произведите отсчеты. Сначала отсчитайте десятые доли сухого термометра, затем – целые градусы, а после этого – десятые доли и целые градусы смоченного термометра;

д) полученные показания сухого и смоченного термометров занесите в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1. Результаты измерений влажности воздуха

| № п/п | Показания сухого термометра $t$ | Показания смоченного термометра $t'$ | $E$ | $E'$ | $e$ | $f$ | $d$ | $t_p$ |
|-------|---------------------------------|--------------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-------|
|       |                                 |                                      |     |      |     |     |     |       |
|       |                                 |                                      |     |      |     |     |     |       |

е) величину  $E$  определите по показаниям температуры  $t$ , а величину  $E'$  – соответственно по показаниям температуры  $t'$  с помощью прил. 1;

ж) атмосферное давление определите по барометру;

з) при определении парциального давления водяного пара в формулы (3.4) или (3.5) подставьте психрометрический коэффициент  $A = 0,000662$ . Относительную влажность и дефицит насыщения следует рассчитать по формулам (3.2), (3.3);

и) точку росы определите по прил. 1. Для этого в поле таблицы найдите значение  $e$ , вычисленное ранее, а затем определите, какому значению температуры оно соответствует;

к) результаты вычислений занесите в табл. 3.1.

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение основным характеристикам влажности воздуха.
2. По каким формулам вычисляются абсолютная влажность воздуха, относительная влажность, дефицит насыщения?
3. Как, зная относительную влажность воздуха и его температуру, пользуясь таблицами, рассчитать основные характеристики влажности воздуха?
4. Какие существуют методы для определения влажности воздуха?
5. Как устроен аспирационный психрометр?
6. Можно ли аспирационным психрометром измерить температуру и влажность воздуха?
7. Каковы причины образования росы?
8. Как находится точка росы?

## 4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЛАКАМИ

**Цель работы:** определение облачности и продолжительности солнечного сияния.

**Приборы и принадлежности:** атлас, гелиограф.

**Облака** – скопление продуктов конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере. Они состоят из водяных капель и ледяных кристалликов. Главной причиной образования облаков является адиабатическое охлаждение воздуха во время его подъема.

Совокупность облаков, наблюдающихся на небосводе над данной территорией, называется **облачностью**. Сведения об облачности имеют большое практическое значение. Облачность уменьшает приток солнечного тепла и света, излучение и охлаждение земной поверхности, изменяет спектральный состав солнечной радиации, оказывает влияние на температуру воздуха и почвы, ее суточный ход, что сопровождается изменением других метеорологических элементов. Из облаков выпадают осадки, от которых зависят условия увлажнения территории. Различным воздушным массам и атмосферным фронтам свойственны определенные облака. Поэтому они являются одним из важнейших элементов при синоптическом анализе и прогнозе погоды, а также используются при изучении климата.

При наблюдении за облачностью определяют общее количество и количество облаков нижнего яруса, форму облаков и высоту нижней границы облаков нижнего или среднего яруса.

В агрономической практике необходимы данные о количестве и формах облаков.

#### **4.1. Определение количества облаков**

Количество облаков определяется по 10-балльной шкале. Полное покрытие неба облаками соответствует 10 баллам, ясное небо – 0; 0,1 покрытия неба облаками – 1 баллу; 0,2 – 2 баллам и т. д. При наличии просветов в облачном покрове меньше 0,1 цифра 10 заключается в квадрат.

Наблюдения за количеством облаков проводятся визуально с одного и того же места. Записывается общее количество облаков и отдельно количество облаков нижнего яруса (слоистые, слоисто-кучевые, слоисто-дождевые), включая облака вертикального развития (кучевые и кучево-дождевые).

#### **4.2. Формы облаков**

Определение форм облаков производят одновременно с определением их количества. Формы облаков очень разнообразны. Определяют их по морфологической классификации, руководствуясь «Атласом облаков», который содержит фотографии и описания форм облаков, их видов и разновидностей. Если на небосводе одновременно наблюдается несколько форм облаков, то вначале определяют те, которые занимают наибольшую площадь небосвода, а потом – все остальные в порядке убывания их количества. Запись форм облаков производят с учетом яруса (верхний, средний, нижний) в той последовательности, в какой определяли их, используя сокращенные обозначения названий облаков.

Морфологическая классификация облаков основана на различиях внешнего строения и высоты распространения. По внешнему строению различают десять основных форм (родов) облаков. Каждую из них по особенностям строения подразделяют еще на ряд видов и разновидностей. В зависимости от высоты нижней границы облака относят к одному из трех ярусов: верхнему, среднему, нижнему. Отдельно выделяют облака вертикального развития, имеющие значительное распространение по вертикали. Основания их обычно находятся в нижнем ярусе, а вершины могут достигать среднего и даже верхнего яруса.

Ниже приведена характеристика основных форм облаков по морфологической классификации с указанием латинских названий и сокращенных обозначений, принятых в международной практике.

#### 4.2.1. Облака верхнего яруса

К основным облакам верхнего яруса относятся перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые облака. Состоят они из ледяных кристаллов и представляют собой тонкий белый покров в виде волокон, изогнутых перьев, волн или прозрачной белой вуали, через который просвечивают не только солнце и луна, но часто и голубое небо.

*Перистые облака* Ci (Cirrus) по внешнему виду – отдельные тонкие и очень прозрачные волокнистые и нитевидные облака, иногда с более плотными или хлопьевидными образованиями. Толщина облачного слоя составляет от сотен метров для нескольких километров, высота нижней границы – 7–10 км. Образуются в результате восходящих движений в верхней тропосфере в зоне атмосферных фронтов, а также из вершин кучево-дождевых облаков при их распаде. **Осадки** – мелкие ледяные кристаллы, почти всегда испаряются, не достигая земли, образуя при этом полосы падения.

*Перисто-кучевые облака* Cc (Cirrocumulus) по внешнему виду напоминают очень мелкие белые волны, хлопья или рябь. Толщина облачного слоя – около 0,2–0,4 км, высота нижней границы – 6–8 км. Возникают они в результате волновых и восходящих движений в верхней тропосфере и часто могут наблюдаться перед быстро движущимися холодными фронтами. Осадки из этих облаков не выпадают.

*Перисто-слоистые облака* Cs (Cirrostratus) имеют вид белой или голубоватой полупрозрачной однородной пелены. В этих облаках часто наблюдается яркое гало вокруг солнца и луны. Толщина облачного слоя колеблется от 0,1 до нескольких километров, высота нижней границы составляет 6–8 км. В ряде случаев облака настолько тонки, что их можно обнаружить лишь по наличию гало. Перисто-слоистые облака образуются в результате адиабатического охлаждения воздуха при восходящем движении в верхней тропосфере в зонах атмосферных фронтов. Особенно часто наблюдаются они перед теплыми фронтами. Осадки перисто-слоистых облаков не достигают земли, только при низких температурах воздуха (например, в Восточной Сибири) Cs дают очень слабый снег или ледяные иглы.

#### 4.2.2. Облака среднего яруса

К облакам среднего яруса относятся высококучевые и высокослоистые облака. Они могут быть в виде сплошной пелены или волн, пластин и хлопьев светло-серого, иногда белого цвета. Эти облака значительно плотнее облаков верхнего яруса и состоят из переохлажденных капель воды или переохлажденных капель в смеси с кристалликами льда, снежинками.

*Высококучевые облака* Ac (Alto cumulus) белого, серого и синеватого цвета, по внешнему виду очень разнообразны и напоминают крупные гальки или хлопья, разделенные просветами голубого неба, но могут сливаться в сплошной покров. Толщина облачного слоя – от 0,2 до 0,7 км, высота нижней границы – 2–6 км. Образование этих облаков происходит на границах инверсии и конвекции в слое выше 2 км. Поэтому они образуются, в частности, перед холодными фронтами. В этих облаках изредка наблюдаются метловидные полосы выпадения осадков, но земной поверхности они не достигают.

*Высокослоистые облака* As (Altostratus) серого или синеватого цвета, представляют собой однородную пелену слегка волокнистой структуры. На нижней поверхности иногда заметны слабо выраженные волны и борозды. Как правило, высокослоистые облака закрывают весь небосвод. Толщина облачного слоя – около 2 км, но может достигать до 2 км, высота нижней границы составляет 3–5 км. Солнце или луна слабо просвечивают сквозь них. Образуются они вследствие охлаждения воздуха, обусловленного медленным восходящим движением. В результате этого высокослоистые облака наблюдаются перед теплыми фронтами. Аналогичный процесс может наблюдаться у холодных фронтов, чаще всего – у медленно движущегося холодного фронта. Из этих облаков зимой выпадают небольшие осадки в виде снега, а летом они вследствие испарения не достигают земли.

#### 4.2.3. Облака нижнего яруса

Облака нижнего яруса имеют вид низких серых тяжелых гряд, валов или пелены, закрывающей небо сплошным покровом. Солнце через облака нижнего яруса, как правило, не просвечивает. Состоят они из капель воды, переохлажденных капель, кристаллов льда и снежинок. К ним относятся слоисто-кучевые, слоистые и слоисто-дождевые облака.

*Слоисто-кучевые облака Sc (Stratocumulus)* представляют собой крупные гряды, пластины или хлопья серого цвета, разделенные просветами или сливающиеся в сплошной покров неодинаковой плотности. Толщина облачного слоя составляет 0,2–0,8 км, высота нижней границы – 0,5–1,5 км. При сплошном покрове солнце сквозь облака не просвечивает. Состоят они преимущественно из капелек воды. Довольно часто образуются при волновых движениях в слоях инверсии. Как правило, осадки из них не выпадают.

*Слоистые облака St (Stratus)* покрывают весь небосвод серой или желто-серой пеленой. По внешнему виду они напоминают туман, слегка приподнятый над землей, иногда эти облака сливаются с наземным туманом. Нижняя часть их может быть разорванной, клочковатой. Толщина облачного слоя – от 0,2 до 0,8 км, высота нижней границы – 0,1–0,7 км. Слоистые облака состоят преимущественно из мельчайших капелек воды. Образуются в основном за счет охлаждения относительно теплого воздуха при соприкосновении его с холодной подстилающей поверхностью или в результате излучения. Эти облака характерны для устойчивых воздушных масс. Осадки из слоистых облаков выпадают редко, и то в виде мороси, мелкого снега (снежных зерен).

*Слоисто-дождевые облака Ns (Nimbostratus)* покрывают небосвод сплошным облачным слоем темно-серого цвета, иногда с желтоватым или синеватым оттенком. Нижняя граница их располагается на высоте 0,1–1 км. Толщина облачного слоя обычно составляет 2–3 км, но может увеличиваться до 5 км. Состоят они из капелек воды и ледяных кристаллов.

Слоисто-дождевые облака образуются в результате охлаждения воздуха при восходящем движении вдоль наклонной фронтальной поверхности. Наблюдаются они главным образом перед теплыми фронтами и сопровождаются выпадением обложных осадков в виде дождя или снега.

#### **4.2.4. Облака вертикального развития**

Облака вертикального развития имеют вид отдельных плотных облачных масс, сильно развитых по вертикали, с плоскими основаниями и причудливыми вершинами, напоминающими громоздящиеся купола и башни. Вершины облаков всегда ослепительно белые, а основания могут быть сероватые или темно-серые. К ним относятся кучевые и кучево-дождевые облака.

*Кучевые облака* Cu (Cumulus) могут быть в виде отдельных редких облачных масс или значительного скопления их. Располагаются они по небосводу обычно беспорядочно. Высота нижней границы колеблется от 0,8 до 1,5 км, но может увеличиваться в сухие и жаркие периоды до 2,5–3 км. Толщина облачного слоя может изменяться от сотен метров до нескольких километров. Кучевые облака состоят из капель воды.

Образование кучевых облаков связано с развитием мощных восходящих движений воздуха, вызванных неодинаковым нагревом подстилающей поверхности. Поэтому они наблюдаются в теплый период и некоторые из них (кучевые плоские) являются признаком хорошей погоды. При сильном развитии кучевые плоские облака переходят в средние, а затем и в мощные кучевые, представляющие собой причудливые нагромождения с темными основаниями и белыми клубящимися вершинами. Обычно кучевые облака не дают осадков, но иногда могут выпадать отдельные капли дождя.

*Кучево-дождевые облака* Sb (Cumulonimbus) имеют большую вертикальную мощность, часто представляют собой горообразные облачные массы с темными, иногда синеватыми основаниями и с белыми вершинами волокнистого строения, закрывающими границы всего небосвода.

Высота нижней границы изменяется от 0,4 до 0,1 км. Верхняя граница может достигать 3–4 км, а иногда и тропопаузы. Солнце и луна через такие облака совершенно не просвечивают.

Кучево-дождевые облака в верхней части состоят из ледяных кристаллов и переохлажденных капель, а в нижней – из капель воды и снежинок. Образуются они за счет охлаждения воздуха, обусловленного сильно развитой термической или динамической конвекцией, поэтому наблюдаются перед холодным фронтом и в сильно неустойчивых воздушных массах. Из кучево-дождевых облаков выпадают осадки ливневого характера, часто сопровождающиеся грозами. Летом из них может выпадать град. Во время выпадения осадков может наблюдаться радуга.

### 4.3. Продолжительность солнечного сияния

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

Устройство гелиографа (рис. 4.1). Основной частью гелиографа является стеклянный шар *10* диаметром 98 мм, укрепленный в дугообразном держателе *6* сферическими шайбами *9*, *11*, винтом *7* и контргайкой *8*. На расстоянии главного фокуса от шара на дугообразном держателе укреплена сферическая чашка *5*, на внутренней стороне которой имеются три пары пазов для закладывания бумажных лент *1*.

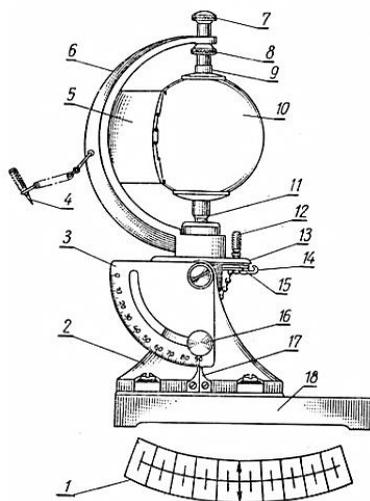


Рис. 4.1. Гелиограф универсальный ГУ-1:  
*1* – лента; *2* – стойки; *3* – шкала широт;  
*4*, *12* – штифты; *5* – чашка; *6* – дугообразный держатель; *7*, *16* – винты; *8* – контргайка;  
*9*, *11* – шайбы; *10* – стеклянный шар; *13* – диск;  
*14*, *17* – указатели; *15* – лимб; *18* – чугунное основание

Правильность закладки лент проверяется по контрольному проколу иглой штифта *4*. В нижней части дугообразного держателя укреплен диск *13* с четырьмя круглыми отверстиями, обозначенными буквами А, Б, В, Г. Шар вместе с дугообразными держателем, чашкой и диском может вращаться вокруг вертикальной оси относительно лимба *15* с укрепленным на нем неподвижным указателем *14*. Отверстия с буквами и неподвижный указатель служат для ориентирования шара относительно солнца. Любое из четырех положений шара фиксируется коническим штифтом *12*. При повороте шара на юг диск укрепляется в

положении Б, на восток – в положении А, на запад – в положении В и на север – в положении Г. Лимб 15 крепится на двух вертикальных стойках 2 к чугунному основанию 18.

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

Перед укреплением прибора на подставку его устанавливают на заданную широту (по шкале широт 3) и по меридиану. Для установки по широте места ослабляют винт 16, поворачивают верхнюю часть до совпадения заданной широты с указателем 17 и фиксируют винт 16. Для ориентировки по меридиану его устанавливают на середину подставки на юг (положение Б) и поворачивают основание так, чтобы фокус пучка солнечных лучей в момент истинного полдня находился на черточке чашки или полуденной линии ленты. В таком положении основание прибора закрепляют тремя винтами.

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

Измерения. В зависимости от времени года бумажную ленту закладывают в одну из пар пазов чашки. В короткие дни, когда солнце находится над горизонтом не более 9 ч, ленту меняют после захода солнца один раз в сутки. Шар в этом случае всегда повернут на юг (в положение Б). При продолжительности дня от 9 до 18 ч ленту меняют два раза в сутки: первый раз после захода, второй – в 12 ч по среднему солнечному времени. Одновременно со сменой лент меняют положение шара. При вечерней смене лент шар поворачивают на восток (в положение А), а при смене в полдень – на запад (в положение В). Если продолжительность дня от восхода до захода солнца превышает 18 ч, смену лент и поворот шара производят три раза в сутки – в 4, 12 и 20 ч по среднему солнечному времени. При смене ленты и повороте шара в 4 ч указатель совмещают с индексом А, в 12 ч – с индексом В и в 20 ч – с индексом Г.

Во время смены лент шар гелиографа затеняют. Ленту меняют, даже если на ней не оказывается следов прожога (пасмурные дни). На обороте каждой ленты отмечают порядковый номер (начиная с 1-го

числа каждого месяца), название метеостанции, год, месяц, дату, время в часах и минутах, когда лента была установлена и вынута.

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

Обработка лент. Продолжительность солнечного сияния определяют по прожогу лент гелиографа за каждый час в десятых долях часа, учитывая даже слабые следы прожога, и заносят в соответствующие таблицы. Если прожог распространяется на все деление, записывают целый час, если на половину деления, записывают 0,5 ч. Суммируют продолжительность солнечного сияния за каждый час и получают суточную продолжительность солнечного сияния (табл. 4.1). Зная количество часов солнечного сияния за отдельные дни, можно определить продолжительность солнечного сияния за любой период (декаду, месяц, вегетационный период, год).

#### **4.4. Выполнение работы**

1. Изучите основные формы и виды облаков по атласу. Дайте описание их по морфологической классификации.
2. Запишите формы облаков, из которых выпадают осадки, с указанием характера их выпадения (обложные, ливневые, моросящие).
3. Определите и запишите количество и формы облаков, которые наблюдаются на небосводе во время занятий.
4. Обработайте ленты гелиографа (по указанию преподавателя).
5. Продолжительность солнечного сияния определяется по прожогу лент гелиографа за каждый час в десятых долях часа с учетом даже слабых следов прожога. Время в часах указано карандашом на ленте в верхнем ряду. Если прожог распространяется на все деление, записывают целый час, если на половину деления, записывают 0,5 ч.
6. Просуммируйте продолжительность солнечного сияния за каждый час и получите суточную продолжительность солнечного сияния. Результаты расчетов занесите в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1. **Результаты измерений продолжительности солнечного сияния**

| Число, месяц | Часы по истинному солнечному времени |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Сумма<br>за сутки, ч |
|--------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
|              | 4-5                                  | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 |                      |
|              |                                      |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |                      |
|              |                                      |     |     |     |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |                      |

### Контрольные вопросы

1. Как образуются облака в атмосфере?
2. Как определяют количество облаков?
3. Дайте характеристику облакам по ярусам (верхний, средний и нижний).
4. Охарактеризуйте облака вертикального развития.
5. Из каких облаков выпадают осадки?
6. Для чего применяется гелиограф и как проводятся наблюдения с его помощью?

## 5. ОСАДКИ И ИСПАРЕНИЕ

**Цель работы:** определение количества выпавших осадков в жидком или твердом виде, измерение испарения из почвы.

**Приборы и принадлежности:** осадкомер Третьякова, почвенный дождемер, весовой снегомер, почвенный испаритель.

**Атмосферные осадки** – это вода в жидком или твердом виде, выпадающая на поверхность земли и наземные предметы из облаков (дождь, снег, град, крупа, морось и др.) и осаждающаяся из воздуха в результате конденсации находящегося в нем водяного пара (роса, иней, изморозь и др.).

Атмосферные осадки являются основным источником накопления влаги в почве. Отсутствие осадков в течение длительного времени ведет к пересыханию верхнего слоя почвы. В результате нарушается водоснабжение сельскохозяйственных культур и снижается урожай. Неблагоприятно сказывается на растениях и выпадение чрезмерно большого количества осадков. В этом случае может быть вымокание, полегание посевов. Продолжительные дожди в период цветения ухудшают

оплодотворение, в период созревания затрудняют уборку. Особенно опасны ливневые дожди, сопровождающиеся градом. Они могут вызвать механическое повреждение посевов, но могут и смыть верхний слой почвы. Опасными считаются ливни, если за 1 ч или более короткий промежуток времени осадков выпадает больше установленного для данного района количества. Например, для Донбасса опасны осадки, количество которых превышает 50 мм за 12 ч или 20 мм за 1 ч.

Зимой на большей части республики осадки выпадают в виде снега. Снежный покров, обладая теплопроводностью, предохраняет почву от глубокого промерзания. Весной талые воды значительно пополняют запасы продуктивной влаги в почве.

Важными характеристиками осадков, выпадающих из облаков, являются количество и интенсивность.

Количество осадков выражается толщиной слоя воды в миллиметрах, который образовался бы на горизонтальной поверхности при условии, что выпавшие осадки не просачивались бы в почву, не стекли и не испарились. Их обычно измеряют с точностью до 0,1 мм. В агрономической практике часто используют данные о количестве осадков в единицах объема ( $\text{м}^3/\text{га}$ ). Слой осадков в 1 мм на площади 1 га составляет  $10 \text{ м}^3$  воды ( $0,001 \text{ м} \cdot 10\,000 \text{ м}^2 = 10 \text{ м}^3$ ). Поэтому для перевода выпавших осадков в кубические метры на 1 га необходимо количество их, измеренное в миллиметрах, умножить на 10.

Интенсивность осадков выражается их количеством (в мм), выпавшим за 1 мин ( $\text{мм}/\text{мин}$ ).

В зимнее время наблюдения ведутся за состоянием снежного покрова. Измеряют его высоту и плотность. По данным измерений вычисляют запас воды в снежном покрове.

Высота снежного покрова измеряется в сантиметрах (с точностью до 1 см). Плотность снежного покрова выражается отношением массы воды в снеге (г) к объему снега ( $\text{см}^3$ ). Вычисление производится с точностью до  $0,1 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Наряду с данными о количестве и интенсивности осадков для решения ряда практических вопросов необходимо иметь сведения об испарении, так как в результате испарения подстилающая поверхность теряет много воды. Количественно испарение характеризуется его скоростью. На практике она выражается в миллиметрах толщины слоя испарившейся воды в единицу времени (с точностью до 0,1 мм).

Количество осадков и скорость испарения могут значительно изменяться в пространстве. Поэтому для нужд сельского хозяйства наблю-

дения за осадками и скоростью испарения необходимо вести непосредственно на полях колхозов и совхозов.

### 5.1. Приборы для измерения осадков

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

**Осадкомер Третьякова О-1** является основным прибором для измерения количества жидких и твердых осадков. В комплект осадкомера входят два цилиндрических ведра (осадкомерные сосуды), крышка к ведру, планочная защита, таган для установки ведра и измерительный стакан.

Ведро 3 осадкомера (рис. 5.1) имеет высоту 40 см и площадь приемной поверхности 200 см<sup>2</sup>. Внутри ведра впаяна диафрагма 2 в виде усеченного конуса, отверстие которой для уменьшения испарения осадков из ведра в летнее время закрывается воронкой 1. С внешней стороны ведра для слива собранных осадков в измерительный стакан припаян носик 5 с колпачком 4. Ведро осадкомера устанавливают в таган, который закреплен неподвижно на металлической подставке 7.

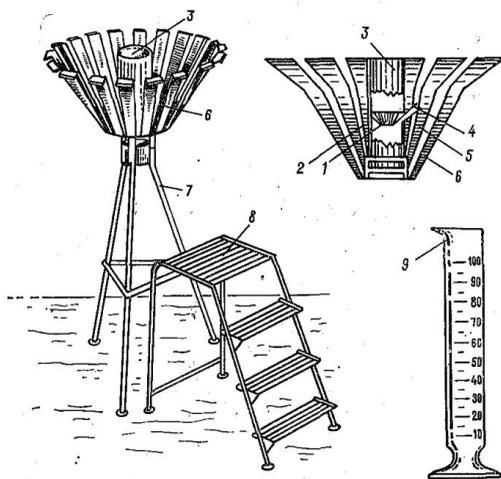


Рис. 5.1. Осадкомер Третьякова О-1:  
1 – воронка; 2 – диафрагма; 3 – ведро; 4 – колпачок;  
5 – носик; 6 – планочная защита; 7 – подставка;  
8 – лесенка; 9 – измерительный стакан

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

Измерение количества осадков производится измерительным стаканом 9, который представляет собой мензурку с делениями (100 делений). Одно деление стакана по объему равно  $2 \text{ см}^3$ . При площади приемной поверхности, равной  $200 \text{ см}^2$ , это соответствует  $0,1 \text{ мм}$  осадков:

ков:  $\left( \frac{2 \text{ см}^3}{200 \text{ см}^2} \cdot 10 = 0,1 \text{ мм} \right)$ . Таким образом, одно деление стакана

соответствует  $0,1 \text{ мм}$  осадков.

**Установка.** Место установки осадкомера должно быть удалено от окружающих предметов на расстояние не менее их трехкратной высоты. Таган укрепляют на металлической подставке так, чтобы верхний край установленного в нем ведра находился на высоте  $2 \text{ м}$  от поверхности земли. Рядом с подставкой осадкомера находится лесенка 8.

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

**Почвенный дождемер ГР-28** применяют для измерения количества жидких осадков, которые наблюдаются на уровне почвы. Используют его преимущественно в комплекте с испарителями. Дождемер состоит из ведра 2 и гнезда 3 (рис. 5.2).

Дождемерное ведро отличается от ведра осадкомера большей площадью поверхности ( $500 \text{ см}^2$ ) и наличием сплошной конусообразной

диафрагмы 4 с отверстием у вершины для стока воды в нижнюю часть ведра.

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

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

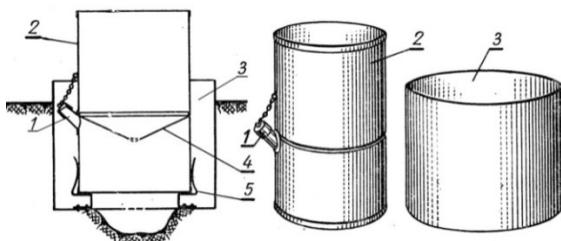


Рис. 5.2. Почвенный дождемер ГР-28:  
1 – носик; 2 – ведро; 3 – гнездо; 4 – диафрагма; 5 – опора

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

## 5.2. Снежный покров

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

### 5.2.1. Высота снежного покрова

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

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

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

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

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

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

### 5.2.2. Плотность снега

Плотность снега измеряют **походным весовым снегомером ВС-43** (рис. 5.3). Он состоит из снегозаборника, весов и лопатки. Снегозаборник 9 представляет собой металлический цилиндр, высота которого равна 60 см, площадь поперечного сечения – 50 см<sup>2</sup>. На одном конце его находится кольцо, заканчивающееся пилообразной режущей кром-

кой 7, а другой конец может закрываться крышкой 10. Для измерения высоты снежного покрова на цилиндр нанесена шкала в сантиметрах. Нулевое деление шкалы совпадает с нижней частью режущей кромки. Вдоль цилиндра свободно перемещается кольцо 8 с дужкой 6, за которую подвешивают снегозаборник к весам.

Весы снегомера состоят из латунной рейки 1 со шкалой (цена деления 5 г). Цифры стоят около каждого десятого деления от 0 до 30. На рейке укреплены две призмы. Одна призма служит опорой для крючка 5, на который подвешивают снегозаборник, а на вторую призму надевается подвес 4 с кольцом, за которое держат весы при взвешивании. Над второй призмой расположена стрелка 3. По совпадению ее с риской подвес определяют в положение равновесия. Для уравнивания весов служит передвижной груз 2 с круглым отверстием. Для отсчета по шкале на нижней стороне скошенного края отверстия нанесена риска. Снегомер за 30 мин до наблюдений выносят из помещения, чтобы он принял температуру окружающего воздуха.

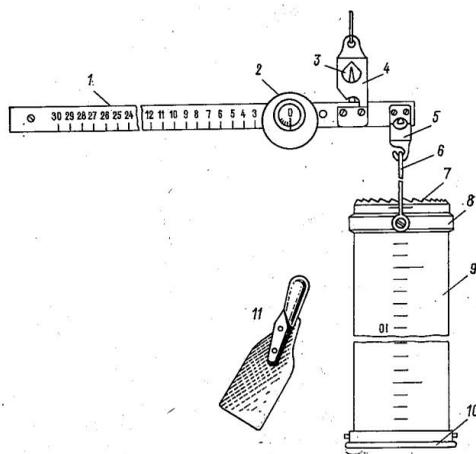


Рис. 5.3. Снегомер весовой ВС-43:  
 1 – латунная рейка; 2 – передвижной груз; 3 – стрелка;  
 4 – подвес; 5 – крючок; 6 – дужка; 7 – режущая кромка;  
 8 – кольцо; 9 – снегозаборник; 10 – крышка; 11 – лопатка

**Измерения.** Взвешивают пустой снегозаборник в делениях шкалы ( $n_0$ ). Снегозаборник режущей кромкой отвесно погружают в снег до тех пор, пока он не дойдет до почвы, и по шкале цилиндра измеряют

высоту снежного покрова  $h$ . Затем с одной стороны цилиндра лопаткой  $II$  отгребают снег, подсовывают ее под режущий край, чтобы весь снег, находящийся в цилиндре, остался. В таком положении цилиндр вынимают из снега, поворачивают крышкой вниз и взвешивают снегозаборник со снегом. Отсчитав показания весов  $n_1$ , определяют фактическое показание весов  $n = n_1 - n_0$ . Перед следующим измерением снегозаборник освобождают от снега и вновь определяют нулевое показание весов. Рассчитывают плотность снега по массе и объему его пробы. Масса взятой воды пробы равна  $5n$ , где  $n$  – число делений, отсчитанных по шкале весов, а объем составляет  $50h$  см<sup>3</sup>, где  $h$  – отсчет по шкале цилиндра. Тогда плотность снежного покрова

$$d = \frac{5n}{50h} = \frac{n}{10h}. \quad (5.1)$$

Если высота снежного покрова больше 60 см, то столб снега вырезают в несколько приемов и для расчета плотности в этом случае берут высоту снега  $h$ , равную сумме всех отсчетов высот, а показание  $n$  получают, суммируя все отсчеты по весам при взятии проб. Определяют запас воды в снеге. Дополнительные расчеты в этом случае не производятся, так как весы и снегозаборник подобраны так, что запас воды взятой пробы снега соответствует числу делений на весах  $n$ . Убедиться в этом нетрудно. Масса снега  $5n$  одновременно будет массой воды, полученной из снега, и, следовательно, объемом ее. Зная объем воды и приемную площадь снегозаборника, рассчитывают высоту слоя воды. Для этого объем воды делят на площадь сечения и для выражения слоя воды в миллиметрах умножают на 10:  $\left(\frac{5n}{50} \cdot 10 = n\right)$ . Таким образом, число делений, отсчитанное на весах при взвешивании пробы снега, равно количеству воды в снеге в миллиметрах.

### 5.3. Испарение из почвы

Для измерения испарения из почвы применяют почвенные испарители. В зависимости от назначения они бывают разных конструкций. Наибольшее распространение получили испарители, с помощью которых испарение определяется по разности результатов измерений по испарителю и дождемеру через определенные промежутки времени.

**Почвенный испаритель ГР-25 (ГГИ-500-50)** применяется для измерения испарения из почвы и сельскохозяйственных полей. Он состоит из внутреннего цилиндра 1, внешнего цилиндра-гнезда 2, водосборного сосуда 7 и двух ручек 4 для переноски испарителя (рис. 5.4).

Почвенный монолит помещают во внутренний цилиндр 1. Высота его равна 50 см, площадь испаряющей поверхности – 500 см<sup>2</sup>. Дно 5 цилиндра съемное с отверстиями для стока просочившейся через почвенный монолит воды. С внешней стороны дна имеется три зубца, за которые с помощью защелок 8 и упоров 9, расположенных в нижней части цилиндра, дно присоединяется к цилиндру. У верхнего края цилиндра имеются козырек шириной 35 мм для прикрытия зазора между внутренним и внешним цилиндрами и ушки 3 с отверстиями для крепления ручек 4 при подъеме и переносе испарителя. Масса внутреннего цилиндра с монолитом почвы – около 40 кг. Внешний цилиндр 2 служит для установки внутреннего цилиндра, поэтому размеры его немного больше. Дно внешнего цилиндра водонепроницаемое.

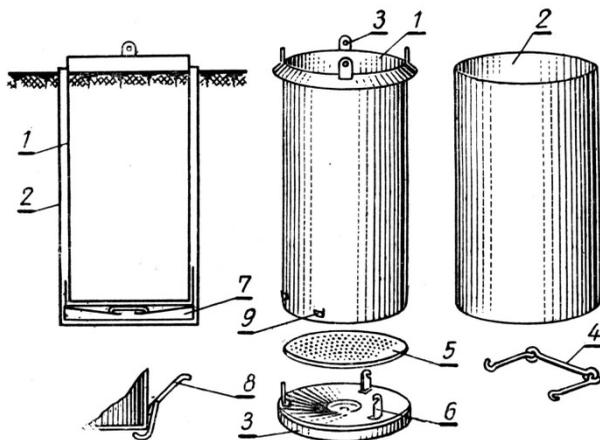


Рис. 5.4. Почвенный испаритель ГР-25 (ГГИ-500-50):  
 1 – внутренний цилиндр; 2 – внешний цилиндр; 3 – ушки;  
 4 – ручки; 5 – дно внутреннего цилиндра; 6 – планки;  
 7 – водосборный сосуд; 8 – защелки; 9 – упоры

Водосборный сосуд 7 представляет собой цилиндрическую банку высотой 30 мм с воронкообразной крышкой, имеющей два отверстия. В центральное отверстие (диаметр 40 мм) стекает просочившаяся че-

рез монолит вода, а боковое отверстие (диаметр 10 мм) служит для слива воды в дождемерный стакан.

Водосборный сосуд присоединяется к внутреннему цилиндру планками 6, расположенными на верхнем крае сосуда.

В комплект испарителя входят весы, подъемное устройство и почвенный дождемер.

Установка. Для большей точности на испарительной площадке устанавливают два почвенных испарителя. Вначале готовят круглые ямы глубиной 52 см и диаметром около 30 см, в которые помещают внешние цилиндры так, чтобы верхние края выступали над почвой на 1,5 см. Щели вокруг гнезда засыпают почвой и утрамбовывают. Оставшуюся почву выносят с испарительной площадки. В цилиндры-гнезда устанавливают внутренние цилиндры с почвенными монолитами.

Зарядку испарителей производят на специально выбранной площадке, которая должна находиться на расстоянии около 50 м от испарительной площадки. Место взятия монолита закапывают и отмечают кольшком. Повторно монолиты в этих местах не берут. Для зарядки испарителя почвенным монолитом внутренний цилиндр без дна ставят на почву и вдавливают в нее. Затем почву вокруг цилиндра окапывают на 3–5 см и цилиндр осаживают под давлением и снова окапывают вокруг. Цилиндр должен быть погружен так, чтобы верхний край его оказался на 1,0–1,5 см выше монолита. После этого под испаритель подводят дно, которое прикрепляют к цилиндру с помощью защелок. Если почва плотная, то монолит сначала подрезают и наклоняют, а потом присоединяют дно. Заряженный испаритель переносят на испарительную площадку и взвешивают на весах. Затем к испарителю прикрепляют водосборный сосуд и опускают в гнездо. Заряжают испаритель один – три раза в месяц в зависимости от типа испарительной площадки.

Почвенный дождемер для измерения осадков устанавливают на расстоянии около 1 м от испарителя.

Измерения. На испарительных площадках ежедневно в 7–9 ч измеряют осадки, а в день взвешивания монолитов – непосредственно перед их взвешиванием. Для взвешивания испаритель переносят к весам. Сначала с него снимают водосборный сосуд, а потом только взвешивают цилиндр с монолитом. Воду из водосборного сосуда выливают в дождемерный стакан для измерения количества просочившейся воды. После этого водосборный сосуд промывают, присоединяют к цилиндру с монолитом и испаритель вновь устанавливают в гнездо.

Обработка наблюдений. Испарение вычисляют по формуле

$$E = 0,02(P_1 - P_2) + r_1 - r_2, \quad (5.2)$$

где  $E$  – испарившийся слой воды между двумя взвешиваниями, мм;

$P_1, P_2$  – масса монолита в предыдущий и текущий сроки измерений, г;

$r_1$  – количество осадков по почвенному дождемеру, мм;

$r_2$  – количество воды, просочившейся в водосборный сосуд между сроками наблюдений, мм.

В последнее время на некоторых станциях для измерения испарения применяют более точные гидравлические испарители с большими монолитами (приемная площадь 2000 см<sup>3</sup>, 3 и 5 м<sup>2</sup>). Для взвешивания служат гидравлические весы, составляющие одно целое с испарителями. Эти испарители содержат устройство для непрерывной регистрации испарения с высокой точностью.

#### 5.4. Выполнение работы

1. Изучите устройство, правила установки осадкомера, дождемера и измерений по ним. По указанию преподавателя определите количество выпавших осадков с помощью измерительного стакана в делениях, переведите их в миллиметры, выполните перевод в единицы объема (м<sup>3</sup>/га).

2. Изучите правила измерений высоты снежного покрова с помощью снегомерных реек.

3. Изучите устройство весового снегомера и правила измерений высоты, плотности снега и запасов воды в нем.

4. Произведите измерения снежного покрова с помощью весового снегомера:

а) взвесьте пустой снегозаборник в делениях шкалы ( $n_0$ );

б) снегозаборник режущей кромкой отвесно погрузите в снег до тех пор, пока он не дойдет до почвы, и по шкале цилиндра измерьте высоту снежного покрова  $h$ ;

в) с одной стороны цилиндра лопаткой  $II$  (см. рис. 5.3) отгребите снег, подsunьте лопатку под режущий край, чтобы весь снег, находящийся в цилиндре, остался внутри цилиндра, выньте цилиндр из снега, поверните крышкой вниз и взвесьте снегозаборник со снегом;

г) отсчитайте показания весов  $n_1$ , определите фактическое показание весов  $n = n_1 - n_0$ . Результаты измерений запишите в табл. 5.1;

д) рассчитайте плотность снега по формуле (5.1), где  $h$  – отсчет по шкале цилиндра, см;

е) определите запас воды в снеге. Зная объем воды и приемную площадь снегозаборника, рассчитайте высоту слоя воды. Для этого объем воды делят на площадь сечения и для выражения слоя воды в миллиметрах умножают на 10:  $\left(\frac{5n}{50} \cdot 10 = n\right)$ . Таким образом, запас воды в снеге в миллиметрах равен  $n$ .

Т а б л и ц а 5.1. Результаты измерений снежного покрова

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

### Контрольные вопросы

1. Что понимают под атмосферными осадками?
2. В каких единицах измеряется количество выпавших осадков?
3. Как устроены осадкомер Третьякова и почвенный дождемер? Как они устанавливаются?
4. Как устроен весовой снегомер?
5. Как с помощью весового снегомера определить запас воды в снежном покрове?
6. Как следует поступить, если высота снежного покрова превышает высоту цилиндра снегомера?

## 6. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

**Цель работы:** определение атмосферного давления.

**Приборы и принадлежности:** барометр стационарный, барометр-анероид.

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

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

До недавнего времени в качестве единицы давления использовали миллибар (мбар) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.). Существующие приборы для измерения давления имеют шкалы также в разных единицах. Соотношение между этими единицами следующее:

$1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}; 1 \text{ мм рт. ст.} = 1,33 \text{ гПа} = 1,33 \text{ мбар}.$

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

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

$$h = 16000 \left( 1 + 0,00366 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2}, \quad (6.1)$$

где  $h$  – превышение, м;

$p_1, p_2$  – давление воздуха на нижнем и верхнем уровнях, гПа, мбар или мм рт. ст.;

$t_1, t_2$  – температура воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, °С;

0,00366 – коэффициент расширения газа.

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

## **6.1. Приборы для измерения атмосферного давления**

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

В ртутных барометрах определение давления основано на измерении высоты ртутного столба, уравнивающего атмосферное давле-

ние, а в деформационных – на зависимости упругой деформации твердых тел от оказываемого на них давления. Наиболее распространенными чувствительными элементами в этих приборах являются anerоидные мембранные коробки (барокоробки) и блоки из них (бароблоки).

**Станционный чашечный барометр СР** состоит из стеклянной трубки *б* длиной около 800 мм и внутренним диаметром 7,2 мм, запаянной с верхнего конца и заполненной очищенной ртутью. Нижний конец трубки опущен в пластмассовую чашку *9* и укреплен с помощью шайбы (рис. 6.1). Чашка *9* состоит из трех свинчивающихся частей. В средней части чашки имеется диафрагма с отверстиями. Диафрагма, занимая некоторый объем, дает возможность наливать в чашку меньше ртути, а также предохраняет ртуть от сильных колебаний и от попадания воздуха в стеклянную трубку при переноске прибора. Барометр сообщается с атмосферным воздухом через резьбовое отверстие в крышке чашки, которое для предохранения ртути от загрязнения закрывается винтом *1* с кожаной шайбой.

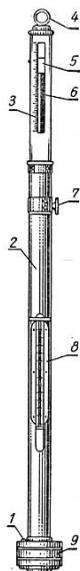


Рис. 6.1. Барометр чашечный станционный СР: 1 – винт; 2 – оправа; 3 – шкала; 4 – кольцо; 5 – нониус; 6 – трубка с ртутью; 7 – кремальера; 8 – термометр; 9 – чашка

Стеклянная трубка находится в металлической оправе *2*. В нижней части ее укреплен термометр *8* для измерения температуры прибора с

ценой делений 1,00 °С. В верхней части оправы имеется сквозная прорезь, позволяющая видеть мениск ртутного столба в стеклянной трубке. С левой стороны прорези нанесена шкала 3 с пределами измерений от 680 до 1070 (СР-А) или от 810 до 1100 мбар (СР-Б). Вдоль стеклянной трубки с помощью кремальеры 7 перемещается кольцо с укрепленным на нем нониусом 5, который служит для наводки на мениск ртутного столба и для отсчета десятых долей. В верхней части оправы укреплено кольцо 4 для подвешивания барометра.

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

Измерения. Перед измерением открывают шкаф и включают освещение. Вначале отсчитывают показания термометра с точностью до 0,1 °С, а затем, слегка постучав по защитной оправе барометра, чтобы мениск ртути в стеклянной трубке принял нормальную форму, подводят сверху нониус с помощью кремальеры до кажущегося касания его нижнего среза вершины мениска ртути (при правильной установке нониуса слева и справа должны быть видны небольшие уголки просвета) и отсчитывают показания барометра с точностью до 0,1 мбар (0,1 гПа). Целые деления отсчитывают по нижнему срезу нониуса, а десятые – по нониусу. Деление нониуса, совпадающее с делением шкалы, показывает число десятых долей.

Обработка измерений. В показания барометра вводят три поправки: инструментальную (которая учитывает неточности в изготовлении прибора), поправку на температуру барометра и ускорение свободного падения.

Введением поправок на температуру и ускорение свободного падения показания барометра приводят к температуре 0 °С и широте места 45° на уровне станции. Так как в зависимости от изменения давления поправка на ускорение свободного падения меняется незначительно, то для данного места ее определяют по среднегодовому давлению и суммируют с инструментальной, получая постоянную поправку. Таким образом, в результаты отсчета по барометру вводят две поправки: одну постоянную и вторую на температуру, которую определяют по специальной таблице.

**Барометр-анероид БАММ-1.** Анероиды выпускаются нескольких конструкций. В настоящее время наиболее распространенным является барометр-анероид БАММ-1.

Принцип действия БАММ-1 основан на деформации мембранных aneroidных коробок под действием давления и преобразования линейных перемещений мембран посредством передаточного механизма в угловые перемещения стрелки относительно шкалы. Чувствительный элемент anerоида (рис. 6.2) состоит из трех последовательно соединенных aneroidных коробок 2 (бароблока). Одна из крепежных ножек его неподвижно прикреплена с помощью пластины к стойкам 16, расположенным между металлическими платами 1, а вторая шарнирно соединена с помощью жесткой тяги 3 с рычагом промежуточной оси 5. Вторым рычагом ее является движок 8, который соединен пластинчато-шарнирной цепочкой 10 с роликом 12, насаженным на общую со стрелкой 7 ось 11. Для создания постоянного натяжения цепочки на оси 11 имеется спиральная пружина (волосок) 14. Для отсчета давления к верхней плате с помощью втулок и винтов прикреплена пластина 13 с отверстием в центре для выхода оси 11, на конец которого насажена стрелка 7. Пластина имеет круговую шкалу с делениями в паскалях. Цена одного деления составляет 100 Па, или 1 гПа. На некоторых anerоидах шкала градуирована в миллиметрах ртутного столба с ценой деления 0,5 мм. Для измерения температуры прибора в прорези шкальной пластины прикреплен дугообразный ртутный термометр 9. Цена деления шкалы термометра равна 1 °С.

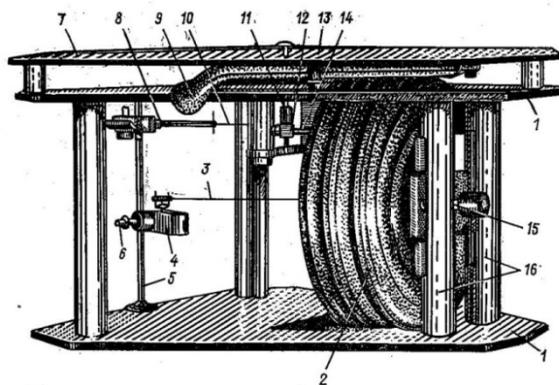


Рис. 6.2. Механизм барометра-анероида БАММ-1:  
 1 – плата; 2 – aneroidные коробки; 3 – тяга; 4 – рычаг;  
 5, 11 – оси; 6, 15 – регулировочный и установочный винты;  
 7 – стрелка; 8 – движок; 9 – термометр; 10 – цепочка;  
 12 – ролик; 13 – пластина; 14 – волосок; 16 – стойки

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

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

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

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

Обработка измерений. В показания анероида вводят три поправки: шкаловую, температурную и добавочную. *Шкаловая поправка* учитывает инструментальную неточность анероида, возникающую в результате технологических допусков при изготовлении прибора. В различных участках шкалы она может быть разной.

В поверочном свидетельстве шкаловые поправки приводятся для всей шкалы через каждые 10 гПа, или 10 мм рт. ст. Для промежуточных показаний поправку определяют путем интерполяции двух соседних поправок.

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

*Добавочная поправка* учитывает остаточную деформацию коробок. Эта поправка меняется во времени. Поэтому в поправочном свиде-

тельстве указывают дату ее определения. Добавочную поправку рекомендуется определять не реже одного раза в 6 месяцев, а при барометрическом нивелировании – до начала и после работы. Для определения добавочной поправки необходимо провести одновременные отсчеты по стационарному чашечному барометру и anerоиду (3–5 отсчетов). Разница между показаниями ртутного барометра с учетом всех поправок и anerоида с двумя поправками (температурной и шкаловой) будет добавочной поправкой к anerоиду.

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

## 6.2. Выполнение работы

1. Изучите устройство и установку ртутного чашечного барометра.
2. Произведите измерение атмосферного давления:
  - а) отсчитайте показания термометра на корпусе барометра с точностью до 0,1 °С;
  - б) слегка постучите по защитной оправе барометра, чтобы мениск ртути в стеклянной трубке принял нормальную форму, и подведите сверху нониус с помощью кремальеры до кажущегося касания его нижнего среза вершины мениска ртути (при правильной установке нониуса слева и справа должны быть видны небольшие уголки просвета);
  - в) отсчитайте показания барометра с точностью до 0,1 мм рт. ст., или 0,1 гПа. Целые деления отсчитывают по нижнему срезу нониуса, а десятые – по нониусу. Деление нониуса, совпадающее с делением шкалы, показывает число десятых долей. Если отсчет по барометру произведен в миллиметрах ртутного столба, необходимо показания барометра перевести в гектопаскали, умножив полученное значение на 1,33;
  - г) в показания барометра введите три поправки: инструментальную, которая учитывает неточности в изготовлении прибора (она указана на барометре); поправку на температуру барометра (прил. 2) и на ускорение свободного падения, которое зависит от широты местности (прил. 3). Результаты измерений занесите в табл. 6.1. Чтобы получить исправленное значение, необходимо к полученному отсчету прибавить поправки (с учетом знака).

Таблица 6.1. Результаты измерений атмосферного давления для ртутного чашечного барометра

| Дата, время наблюдения | Чашечный барометр |                 |   |                       |
|------------------------|-------------------|-----------------|---|-----------------------|
|                        | Температура       | Отсчет давления | Поправки  | Исправленное значение |
|                        |                   |                 | 1) инструментальная<br>2) температурная<br>3) на широту местности |                       |

### Контрольные вопросы

1. Что понимают под атмосферным давлением?
2. В каких единицах измеряется атмосферное давление?
3. Как устроен чашечный барометр?
4. Как производится отсчет чашечного барометра и какие вводятся поправки?
5. Как устроен барометр-анероид?
6. Перечислите поправки для барометра-анероида.
7. Для чего перед отсчетом анероида следует слегка постучать пальцем по стеклу прибора?

## 7. СКОРОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА

**Цель работы:** определение направления и скорости ветра.

**Приборы и принадлежности:** флюгер, ручной анемометр.

**Ветром** называется горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Основными характеристиками ветра являются скорость и направление.

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

*Направление ветра* определяют той частью горизонта, откуда дует ветер, и выражают в румбах горизонта или в угловых градусах. Направление ветра в румбах горизонта определяют по 16-румбовой системе (рис. 7.1).

Для обозначения румбов используют начальные буквы стран света. При измерении направления в градусах принимают север за 360 или 0°, восток – 90°, юг – 180°, запад – 270°. В ряде случаев оценивают

порывистость ветра, т. е. изменение мгновенных значений скорости и направления ветра во времени.

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

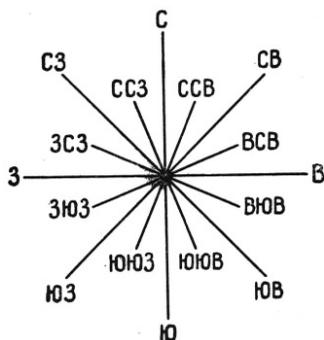


Рис. 7.1. Расположение румбов:  
С – север; ССВ – северо-северо-восток;  
СВ – северо-восток; ВСВ – восточно-северо-восток; В – восток;  
ВЮВ – восточно-юго-восток;  
ЮВ – юго-восток; ЮЮВ – юго-юго-восток;  
Ю – юг; ЮЮЗ – юго-юго-запад;  
ЮЗ – юго-запад; ЗЮЗ – западно-юго-запад;  
З – запад; ЗСЗ – западно-северо-запад;  
СЗ – северо-запад; ССЗ – северо-северо-запад

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

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

## 7.1. Приборы для измерения скорости и направления ветра

Приборы для измерения скорости ветра называются анемометрами, для измерения скорости и направления ветра – анеморумбометрами, а некоторые из них – ветромерами. Первичными приемниками направления ветра являются флюгарки, свободно вращающиеся вокруг вертикальной оси. Большинство из них с одной стороны имеют две пластины, расположенные под углом, а с другой – противовес. Приемниками приборов для измерения скорости ветра служат чашечные вертушки, воздушные винты и свободно подвешенные около горизонтальной оси пластины.

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

**Флюгер стационарный ФВЛ, ФВТ** (рис. 7.2). Приемником направления ветра служит двухлопастная флюгарка 1 с противовесом. Она укреплена на трубке 7, которая надевается на заостренный конец неподвижной оси 9 и свободно вращается вокруг нее. Для определения направления ветра на неподвижной оси расположена муфта 8 с восемью штифтами, указывающими направление света.

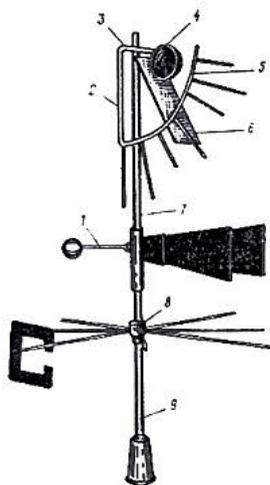


Рис. 7.2. Флюгер стационарный ФВЛ, ФВТ:

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

Приемник скорости ветра смонтирован над флюгаркой. Им служит прямоугольная металлическая доска (пластина) 6, свободно качающаяся

ся около горизонтальной оси 3, закрепленной в упорах рамки 2 перпендикулярно к флюгарке.

Рамка имеет дугу 5 с восемью штифтами, по которым отсчитывают положение доски, отклоняющейся под действием ветра, и противовес 4 для уравнивания дуги. Штифты нумеруются от 0 до 7. Для удобства отсчета четные штифты (0, 2, 4, 6) длиннее нечетных (1, 3, 5, 7). Каждому штифту соответствует определенная скорость ветра. Для выражения скорости ветра в метрах в секунду пользуются градуировочной таблицей (табл. 7.1).

Флюгеры выпускаются с легкой (200 г) и тяжелой (800 г) досками, они обеспечивают измерение скорости ветра соответственно до 20 и 40 м/с.

Установка. Флюгер устанавливают на открытой площадке на мачте высотой 10–12 м от земли или на крыше здания. Высота установки над крышей должна быть не менее 4 м. Штифты для определения направления ветра ориентируют по сторонам света. Для этого штифт с буквой С устанавливают на астрономический север по полуденной линии или с помощью магнитного компаса.

Так как магнитное склонение данного места не всегда точно известно, то надежнее ориентировать флюгер по полуденной линии, которую находят по тени от оси флюгера в истинный полдень и отмечают направление ее несколькими колышками или шнуром, натянутым на двух колышках.

При правильной установке направление штифта с буквой С должно совпадать с направлением полуденной линии.

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

Для измерения скорости ветра необходимо несколько отойти от мачты флюгера и стать так, чтобы доска и дуга со штифтами были хорошо видны. Скорость ветра непрерывно изменяется. Поэтому отмечают номер штифта, соответствующего среднему положению доски в течение 2 мин. После этого скорость ветра по номеру штифта переводят в метры в секунду (см. табл. 7.1). Например, во время измерений доска (легкая) находилась около третьего штифта, значит, скорость ветра была 6 м/с.

Т а б л и ц а 7.1. Градуировочная таблица флюгеров с легкой и тяжелой доской

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

Измерения по флюгеру позволяют определить характер ветра (ровный, порывистый, меняющий свое направление) и максимальную скорость. При скоростях ветра больше 10 м/с измерения производят по флюгеру с тяжелой доской. При этом записывают среднее и верхнее положение доски, куда она доходила в течение 2 мин.

*Анемометр ручной чашечный МС-13* (рис. 7.3) служит для измерения скорости ветра за небольшие промежутки времени (обычно 10 мин) в пределах от 1 до 20 м/с. Его широко применяют при агрометеорологических наблюдениях для измерения скорости ветра на полях с различными культурами, в лесополосах и др.

Чувствительным элементом анемометра является вертушка 1 с четырьмя полушариями, обращенными выпуклостями в одну сторону. Вертушка насажена на ось 3. В нижней части ось имеет червячную (винтовую) нарезку 5, соприкасающуюся с зубчатым колесом, которое передает вращение вертушки счетному механизму. Счетный механизм помещен в корпусе 4 и представляет собой систему зубчатых колес, связанных с тремя стрелками, которые при вращении вертушки переключаются по трем шкалам.

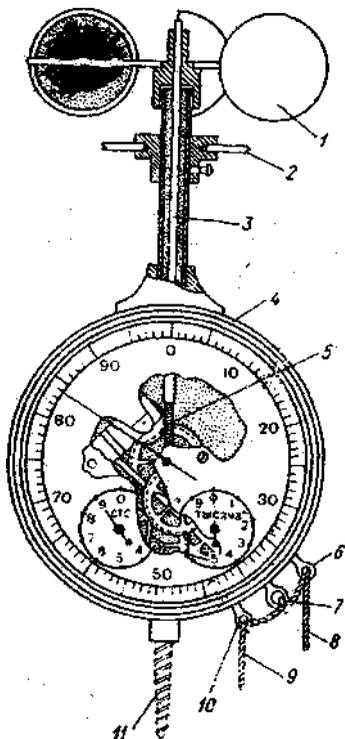


Рис. 7.3. Анемометр ручной чашечный МС-13:  
 1 – вертушка; 2 – защитная дужка; 3 – ось;  
 4 – корпус; 5 – червяк; 6, 10 – ушки;  
 7 – кольцо арретира; 8, 9 – шнуры; 11 – винт

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

От механических повреждений вертушка защищена металлическими дужками 2 (на рис. 7.3 показано место крепления их). В нижней части корпуса имеется винт 11 для установки анемометра на столбе.

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

Счетный механизм включается и выключается арретиром, выступающий конец которого расположен сбоку корпуса и имеет вид подвижного кольца 7. Движением арретира вверх (против часовой стрелки) счетчик анемометра включают, а движением вниз (по часовой стрелке) – выключают.

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

Измерения. Перед измерением при выключенном счетчике записывают начальные показания, т. е. положение всех трех стрелок (тысячи, сотни, десятки, единицы), устанавливают анемометр на заданной высоте и через 20–30 с, когда скорость вращения вертушки установится, счетчик анемометра включают.

Через определенное время (на практике чаще всего через 10 мин после включения) счетчик выключают и записывают новые показания прибора (тысячи, сотни, десятки, единицы) и время работы прибора в секундах. Секундомер включают и выключают одновременно с арретиром анемометра. По разности показаний счетчика, деленной на время работы прибора, определяют среднее число делений счетчика в 1 с. Для выражения средней скорости ветра в метрах в секунду пользуются поверочным свидетельством данного прибора, в котором имеется градуировочный график или таблица. Между наблюдениями анемометр хранится в футляре с выключенным механизмом.

Для измерения скорости ветра может быть использован анемометр ручной индукционный АРИ-49, который имеет шкалу, градуированную в метрах в секунду. Пределы измерения составляют от 2 до 30 м/с.

## 7.2. Роза ветров

Для характеристики ветрового режима местности могут быть необходимы сведения о преимущественном направлении ветра. Для этого вычисляют повторяемость по каждому румбу, выражая ее или числом случаев, соответствующих данному румбу, или в процентах от общего числа случаев всех направлений. Например, в табл. 7.2 приводится повторяемость различных направлений ветра в процентах по многолетним данным для января и июля.

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

Т а б л и ц а 7.2. **Повторяемость направлений ветра (%) и среднее число штилей**

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

Для построения розы ветров из одной точки по направлению основных восьми румбов откладывают отрезки, соответствующие повторяемости направления ветра (в %) данного румба в выбранном масштабе. Полученные точки на румбах соединяют прямыми линиями (рис. 7.4).

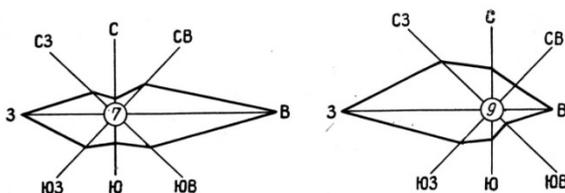


Рис. 7.4. Роза ветров

В центре розы ветров показывают число штилей. Анализируя розу ветров, можно сделать вывод о том, что в данном случае промышленные предприятия и фермы лучше располагать с южной или северо-восточной стороны от населенных пунктов, лесные полосы – в направлении с севера на юг и т. д.

### 7.3. Выполнение работы

1. Изучите устройство флюгера станционного.
2. Определите направление ветра с помощью флюгера (по указанию преподавателя).
3. Произведите измерение скорости ветра с помощью ручного анемометра (на площадке перед учебным корпусом):
  - а) перед измерением при выключенном счетчике запишите начальные показания в виде четырехзначного числа, т. е. положение всех трех стрелок (тысячи, сотни, десятки, единицы). Результаты измерений занесите в табл. 7.3;

б) установите анемометр на заданной высоте и через 20–30 с, когда скорость вращения вертушки установится, включите счетчик анемометра;

в) через 3–10 мин после включения счетчик выключите и запишите новые показания прибора (тысячи, сотни, десятки, единицы) и время работы прибора в секундах. Секундомер включают и выключают одновременно с арретиром анемометра;

г) разность показаний счетчика разделите на время работы прибора и определите среднее число делений счетчика в 1 с;

д) для выражения средней скорости ветра в метрах в секунду используйте поверочное свидетельство данного прибора, в котором имеется градуировочный график или таблица. Результаты расчетов занесите в табл. 7.3;

е) постройте розу ветров (по указанию преподавателя).

Т а б л и ц а 7.3. Результаты измерений скорости ветра

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

### Контрольные вопросы

1. Что такое ветер?
2. Как определяют направление ветра и в каких единицах измерения его выражают?
3. Какими приборами измеряются направление и скорость ветра?
4. Как устроен флюгер?
5. Почему флюгарку делают из двух пластин, расположенных под углом?
6. Для чего делается противовес к пластинкам флюгарки?
7. Как производится измерение скорости и определяется направление ветра с помощью флюгера?
8. Как определить скорость ветра с помощью ручного анемометра?
9. Как строится роза ветров и где она применяется в сельскохозяйственном производстве?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лосев, А. П. Агрометеорология / А. П. Лосев, Л. Л. Журина. – Минск: Колос, 2004. – 285 с.
2. Хромов, С. П. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, А. Д. Петросянц. – Москва, 1994. – 519 с.
3. Чирков, Ю. И. Агрометеорология / Ю. И. Чирков. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1986. – 293 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

**Давление насыщенного водяного пара  $E_s$  над плоской поверхностью чистой воды при разных температурах, гПа**

| $t_s, ^\circ\text{C}$ | 0,0  | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0                     | 6,1  | 6,2  | 6,2  | 6,2  | 6,3  | 6,3  | 6,4  | 6,4  | 6,5  | 6,5  |
| 1                     | 6,6  | 6,6  | 6,7  | 6,7  | 6,8  | 6,8  | 6,98 | 6,9  | 7,0  | 7,0  |
| 2                     | 7,0  | 7,1  | 7,2  | 7,2  | 7,3  | 7,3  | 7,4  | 7,4  | 7,5  | 7,5  |
| 3                     | 7,6  | 7,6  | 7,7  | 7,7  | 7,8  | 7,8  | 7,9  | 8,0  | 8,0  | 8,1  |
| 4                     | 8,1  | 8,2  | 8,2  | 8,3  | 8,4  | 8,4  | 8,5  | 8,5  | 8,6  | 8,7  |
| 5                     | 8,7  | 8,8  | 8,8  | 8,9  | 9,0  | 9,0  | 9,1  | 9,2  | 9,2  | 9,3  |
| 6                     | 9,4  | 9,4  | 9,5  | 9,5  | 9,6  | 9,7  | 9,7  | 9,8  | 9,9  | 10,0 |
| 7                     | 10,0 | 10,1 | 10,2 | 10,2 | 10,3 | 10,4 | 10,4 | 10,5 | 10,6 | 10,6 |
| 8                     | 10,7 | 10,8 | 10,9 | 11,0 | 11,0 | 11,1 | 11,2 | 11,2 | 11,3 | 11,4 |
| 9                     | 11,5 | 11,6 | 11,6 | 11,7 | 11,8 | 11,9 | 12,0 | 12,0 | 12,1 | 12,2 |
| 10                    | 12,3 | 12,4 | 12,4 | 12,5 | 12,6 | 12,7 | 12,8 | 12,9 | 13,0 | 13,0 |
| 11                    | 13,1 | 13,2 | 13,3 | 13,4 | 13,5 | 13,6 | 13,7 | 13,8 | 13,8 | 13,9 |
| 12                    | 14,0 | 14,1 | 14,2 | 14,3 | 14,4 | 14,5 | 14,6 | 14,7 | 14,8 | 14,9 |
| 13                    | 15,0 | 15,1 | 15,2 | 15,3 | 15,4 | 15,5 | 15,6 | 15,7 | 15,8 | 15,9 |
| 14                    | 16,0 | 16,1 | 16,2 | 16,3 | 16,4 | 16,5 | 16,6 | 16,7 | 16,8 | 17,0 |
| 15                    | 17,1 | 17,2 | 17,3 | 17,4 | 17,5 | 17,6 | 17,7 | 17,8 | 18,0 | 18,1 |
| 16                    | 18,2 | 18,3 | 18,4 | 18,5 | 18,7 | 18,8 | 18,9 | 19,0 | 19,1 | 19,3 |
| 17                    | 19,4 | 19,5 | 19,6 | 19,8 | 19,9 | 20,0 | 20,1 | 20,3 | 20,4 | 20,5 |
| 18                    | 20,6 | 20,8 | 20,9 | 21,0 | 21,2 | 21,3 | 21,4 | 21,6 | 21,7 | 21,8 |
| 19                    | 22,0 | 22,1 | 22,3 | 22,4 | 22,5 | 22,7 | 22,8 | 23,0 | 23,1 | 23,2 |
| 20                    | 23,4 | 23,5 | 23,7 | 23,8 | 24,0 | 24,1 | 24,3 | 24,4 | 24,6 | 24,7 |
| 21                    | 24,9 | 25,0 | 25,2 | 25,4 | 25,5 | 25,7 | 25,8 | 26,0 | 26,1 | 26,3 |
| 22                    | 26,5 | 26,6 | 26,8 | 26,9 | 27,1 | 27,3 | 27,4 | 27,6 | 27,8 | 27,9 |
| 23                    | 28,1 | 28,3 | 28,5 | 28,6 | 28,8 | 29,0 | 29,2 | 29,3 | 29,5 | 29,7 |
| 24                    | 29,9 | 30,0 | 30,2 | 30,4 | 30,6 | 30,8 | 31,0 | 31,1 | 31,3 | 31,5 |
| 25                    | 31,7 | 31,9 | 32,1 | 32,3 | 32,5 | 32,7 | 32,9 | 33,0 | 33,2 | 33,4 |
| 26                    | 33,6 | 33,8 | 34,0 | 34,2 | 34,4 | 34,6 | 34,9 | 35,1 | 35,3 | 35,5 |
| 27                    | 35,7 | 35,9 | 36,1 | 36,3 | 36,5 | 36,8 | 37,0 | 37,2 | 37,4 | 37,6 |
| 28                    | 37,8 | 38,1 | 38,3 | 38,5 | 38,7 | 39,0 | 39,2 | 39,4 | 39,6 | 39,9 |
| 29                    | 40,1 | 40,3 | 40,6 | 40,8 | 41,0 | 41,3 | 41,5 | 41,8 | 42,0 | 42,2 |
| 30                    | 42,5 | 42,7 | 43,0 | 43,2 | 43,5 | 43,7 | 44,0 | 44,2 | 44,5 | 44,7 |
| 31                    | 45,0 | 45,2 | 45,5 | 45,8 | 46,0 | 46,3 | 46,5 | 46,8 | 47,1 | 47,3 |
| 32                    | 47,6 | 47,9 | 48,1 | 48,4 | 48,7 | 49,0 | 49,2 | 49,5 | 49,8 | 50,1 |
| 33                    | 50,4 | 50,6 | 50,9 | 51,2 | 51,5 | 51,8 | 52,1 | 52,4 | 52,7 | 53,0 |
| 34                    | 53,5 | 53,6 | 53,8 | 54,2 | 54,5 | 54,8 | 55,1 | 55,4 | 55,7 | 56,0 |
| 35                    | 56,3 | 56,6 | 56,9 | 57,2 | 57,6 | 57,9 | 58,2 | 58,5 | 58,8 | 59,2 |
| 36                    | 59,5 | 59,8 | 60,1 | 60,5 | 60,8 | 61,1 | 61,5 | 61,8 | 62,2 | 62,5 |
| 37                    | 62,8 | 63,2 | 63,5 | 63,9 | 64,2 | 64,6 | 64,9 | 65,3 | 65,6 | 66,0 |
| 38                    | 66,3 | 66,7 | 67,0 | 67,4 | 67,8 | 68,2 | 68,5 | 68,9 | 69,3 | 69,6 |

Приложение 2

**Поправка к показаниям барометра на температуру, Мб**

| <i>t</i> | 940 | 950 | 960 | 970 | 980 | 990 | 1000 | 1010 | 1020 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 10,0     | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6  | 1,6  | 1,6  |
| 14,0     | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3  | 2,3  | 2,3  |
| 15,0     | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4  | 2,5  | 2,5  |
| 16,0     | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6  | 2,6  | 2,7  |
| 17,0     | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,8  | 2,8  | 2,8  |
| 18,0     | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 2,9  | 3,0  | 3,0  |
| 19,0     | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,1  | 3,1  | 3,2  |
| 20,0     | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,3  | 3,3  | 3,3  |
| 21,0     | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,4  | 3,4  | 3,5  |
| 22,0     | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 3,6  | 3,6  | 3,6  |
| 23,0     | 3,5 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 3,7  | 3,8  | 3,8  |
| 24,0     | 3,7 | 3,7 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,9 | 3,9  | 3,9  | 4,0  |
| 25,0     | 3,8 | 3,8 | 3,9 | 3,9 | 4,0 | 4,0 | 4,1  | 4,1  | 4,2  |
| 26,0     | 4,0 | 4,0 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,2 | 4,2  | 4,3  | 4,3  |
| 27,0     | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 4,4 | 4,4  | 4,4  | 4,5  |
| 28,0     | 4,3 | 4,3 | 4,4 | 4,4 | 4,5 | 4,5 | 4,6  | 4,6  | 4,6  |

Приложение 3

**Прибавка к показаниям барометра на силу тяжести на широте 54°, Мб**

| 940  | 950  | 960  | 970  | 980  | 990  | 1000 | 1010 | 1013,2 | 1020 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|
| 0,75 | 0,76 | 0,77 | 0,78 | 0,78 | 0,79 | 0,80 | 0,81 | 0,81   | 0,82 |