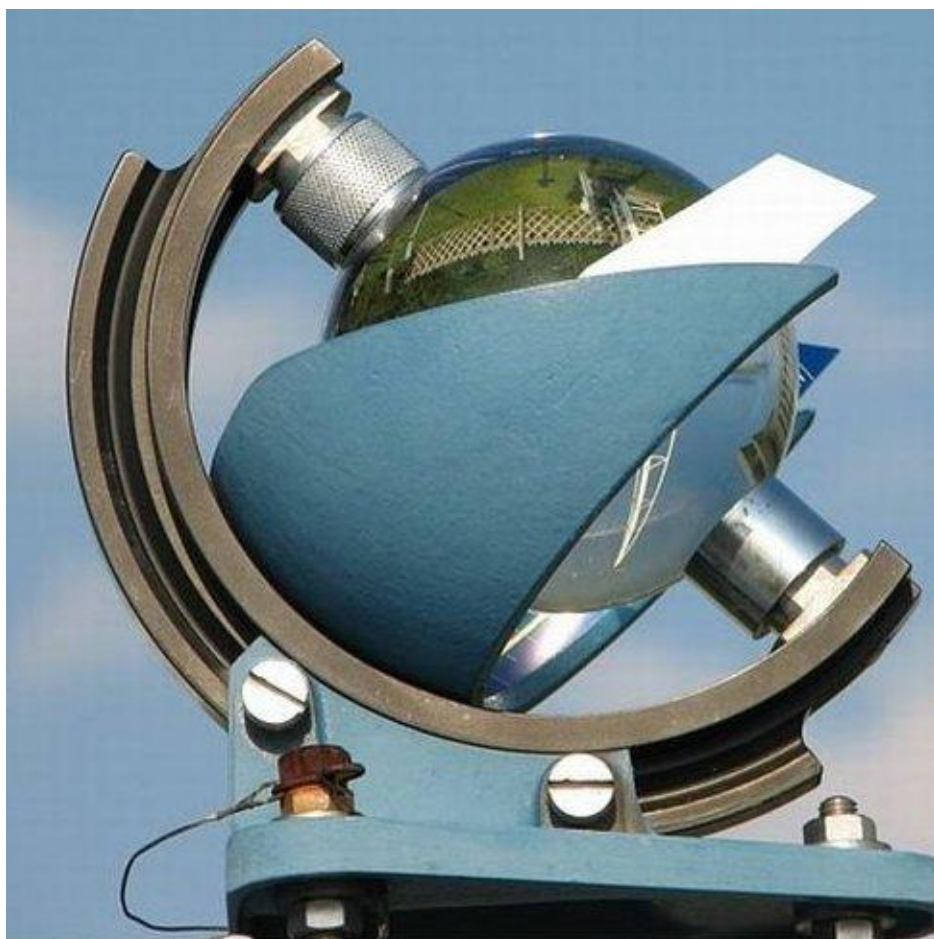


**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА**

**А.П. Дужников, Е.В. Павликова**

# **АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ**



**Пенза 2015**

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА**

**Кафедра общего земледелия и землеустройства**

**А.П. Дужников, Е.В. Павликова**

**АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ**

Учебное пособие для студентов технологического факультета,  
обучающихся по направлению подготовки 35.03.07 – Технология  
производства и переработки сельскохозяйственной продукции  
(квалификация – бакалавр)

Пенза 2015

УДК 551.5:63(075)

ББК 40.2(я7)

Д 81

Составители: А.П. Дужников, кандидат с.-х. наук, доцент,  
Е.В. Павликова, кандидат с.-х. наук, доцент

Рецензент – доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
зав. кафедрой растениеводства и лесного хозяйства В.А. Гущина.

Печатается по решению методической комиссии технологического факультета от 28 сентября 2015 г., протокол № 1.

**Дужников, А.П.**

Д 81      Агрометеорология: учебное пособие / А.П. Дужников,  
Е.В. Павликова. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – 117 с.

В учебном пособии приведены основные положения проведения наблюдений по стандартным метеорологическим приборам, темы лабораторных занятий, порядок их выполнения. Для контроля знаний предусмотрены задачи и вопросы программированного контроля.

© ФГБОУ ВО

Пензенская ГСХА, 2015

© А.П. Дужников,

Е.В. Павликова, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И НАБЛЮДЕНИЯ ....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Сроки и порядок наблюдения</b>	
<b>на метеорологических станциях.....</b>	<b>6</b>
<i>Лабораторная работа 1 Сроки и порядок наблюдения</i>	
<i>на метеорологических станциях .....</i>	<i>9</i>
<b>1.2 Измерение солнечной радиации .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.1 Приборы для измерения радиационного баланса</b>	
<b>и его составляющих.....</b>	<b>10</b>
<i>Лабораторная работа 2</i>	
<i>Измерение прямой солнечной радиации .....</i>	<i>14</i>
<i>Лабораторная работа 3</i>	
<i>Измерение суммарной солнечной радиации.....</i>	<i>16</i>
<b>1.3 Измерение температуры почвы и воздуха .....</b>	<b>17</b>
<i>Лабораторная работа 4 Измерение температуры почвы .....</i>	<i>26</i>
<i>Лабораторная работа 5 Измерение температуры воздуха.....</i>	<i>28</i>
<i>Лабораторная работа 6 Построение графика годового хода</i>	
<i>температуры воздуха .....</i>	<i>31</i>
<b>1.4 Влажность воздуха .....</b>	<b>33</b>
<b>1.4.1 Характеристики влажности воздуха.....</b>	<b>33</b>
<b>1.4.2 Методы и приборы измерения влажности воздуха .....</b>	<b>34</b>
<i>Лабораторная работа 7 Определение влажности воздуха</i>	
<i>аспирационным психрометром.....</i>	<i>39</i>
<i>Лабораторная работа 8 Определение влажности воздуха</i>	
<i>станционным психрометром .....</i>	<i>41</i>
<b>1.5 Атмосферное давление .....</b>	<b>44</b>
<b>1.5.1 Понятие об атмосферном давлении .....</b>	<b>44</b>
<b>1.5.2 Приборы для измерения атмосферного давления.....</b>	<b>45</b>
<i>Лабораторная работа 9 Измерение атмосферного давления</i>	
<i>барометром-анероидом.....</i>	<i>50</i>
<b>1.6 Ветер .....</b>	<b>53</b>
<b>1.6.1 Характеристики ветра .....</b>	<b>53</b>
<b>1.6.2 Приборы для измерения направления и скорости ветра .....</b>	<b>54</b>
<i>Лабораторная работа 10 Измерение скорости ветра</i>	
<i>и построение розы ветров.....</i>	<i>58</i>
<b>1.7 Измерение осадков .....</b>	<b>60</b>

<i>Лабораторная работа 11 Измерение осадков.....</i>	<i>67</i>
<i>Лабораторная работа 12 Измерение плотности снега и запасов воды.....</i>	<i>68</i>
<i>Лабораторная работа 13 Проведение снегосъемки .....</i>	<i>70</i>
<b>2 АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ .....</b>	<b>72</b>
<b>2.1 Оценка условий увлажнения вегетационного периода.....</b>	<b>72</b>
<i>Лабораторная работа 14 Определение дат начала и окончания избыточно влажных, засушливых и сухих периодов и их продолжительности .....</i>	<i>72</i>
<b>2.2 Синоптические карты .....</b>	<b>74</b>
<i>Лабораторная работа 15 Анализ синоптической карты. Составление прогноза погоды .....</i>	<i>76</i>
<i>Лабораторная работа 16 Прогноз запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы к началу полевых работ .....</i>	<i>79</i>
<i>Лабораторная работа 17 а) Прогноз заморозков.....</i>	<i>82</i>
<i>б) Агрометеорологический прогноз сроков наступления фаз развития ранних яровых культур (фенологический прогноз)....</i>	<i>85</i>
<i>в) Прогноз сроков цветения плодовых культур .....</i>	<i>88</i>
<i>Лабораторная работа 18 Агрометеорологические прогнозы урожая сельскохозяйственных культур .....</i>	<i>91</i>
<b>3 АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА .....</b>	<b>94</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>99</b>
<b>СЛОВАРЬ ПОНЯТИЙ И ТЕРМИНОВ .....</b>	<b>100</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>103</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии приведены основные правила наблюдений, проводимых стандартными метеорологическими приборами, с указанием соблюдения мер по технике безопасности. В работах имеются примеры расчетов задач, а также планы их выполнения. Для внеаудиторной подготовки студентов к лабораторно-практическим занятиям приведены «Указания к выполнению самостоятельной работы», где дан перечень разделов и страниц «Практикума по агрометеорологии» для самостоятельной проработки и составления краткого конспекта по изучаемому вопросу. В целях облегчения самостоятельной работы студентов все необходимые дополнительные материалы (технические описания, поправки из паспортов, справочные таблицы и др.), используемые при выполнении лабораторно-практических работ, сконцентрированы в учебном пособии.

Дисциплина «Агрометеорология» направлена на формирование компетенций:

а) общекультурных (ОК):

- владения культурой мышления, способности к обобщению, анализу, восприятия информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);

- способности находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовности нести за них ответственность (ОК-4);

- способности представить современную картину мира на основе естественнонаучных, математических знаний, ориентироваться на ценностях бытия, жизни, культуры (ОК-11);

б) профессиональных (ПК):

- способности использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-1);

- готовности к оценке физиологического состояния, адаптационного потенциала и определению факторов регулирования роста и развития сельскохозяйственных культур (ПК-2);

- способности к принятию управленческих решений в различных производственных и погодных условиях (ПК-18);

- готовности к анализу и критическому осмыслению отечественной и зарубежной научно-технической информации в области производства и переработки сельскохозяйственной продукции (ПК-23).

# 1 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И НАБЛЮДЕНИЯ

## 1.1 Сроки и порядок наблюдения на метеорологических станциях

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

Наблюдения на всех метеорологических станциях проводятся одновременно в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 час по московскому декретному времени и только некоторые станции продолжают вести наблюдения в 01, 07, 13, 19 ч по среднему солнечному времени (климатологические сроки).

Во все сроки наблюдения измеряют температуру воздуха и почвы, влажность воздуха, направление и скорость ветра, облачность, горизонтальную видимость, атмосферное давление. Наблюдение за осадками проводят четыре раза в сутки: в 03, 15 ч по московскому декретному времени и в сроки, близкие к 08 и 20 ч декретного времени данного пояса. Высоту снежного покрова, глубину промерзания почвы, температуру на глубине кушения измеряют один раз в утренний срок, ближайший к 08 ч декретного времени данного пояса. Испарение определяют один раз в 5 дней, влажность почвы – один раз в 10 дней.

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

Так как произвести измерения всеми приборами точно в срок наблюдений нельзя, то принято при восьмиразовых наблюдениях температуру и влажность воздуха отсчитывать за 10 мин, а давление воздуха – за 2 мин до срока наблюдений. Все остальные измерения начинаются за несколько минут до срока и заканчиваются после срока. Общая продолжительность наблюдений составляет 20–30 мин.

Так как на метеорологических станциях приходится иметь дело с различным временем, то необходимо знать основные понятия о существующем измерении времени.

Чередование дня и ночи, являющееся следствием вращения Земли вокруг своей оси, дало людям естественную единицу измерения времени – сутки. *Истинные солнечные сутки* – это про-

межуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями Солнца. *Кульминациями* называются явления прохождения Солнца через линию небесного меридиана в точке наблюдения. Время, исчисляемое в истинных сутках, называется истинным солнечным временем.

Длительность истинных солнечных суток в течение года изменяется. Поэтому за единицу времени в практической жизни принята средняя за год продолжительность истинных суток – средние солнечные сутки, которыми измеряют среднее солнечное время. Сутки, в свою очередь, делят на 24 часа, час – на 60 минут, минуту – на 60 секунд.

Так как Земля вращается, то каждой ее точке с долготой соответствует свое собственное местное время, которое одинаково только для пунктов, расположенных на одной и той же долготе.

Учитывая, что Земля при вращении делает полный оборот вокруг своей оси ( $360^\circ$ ) за сутки (24 ч), следовательно, на  $1^\circ$  долготы время изменяется на 4 мин, а на  $1'$  долготы на 4 с, вся поверхность земного шара разделена на  $15^\circ$  по географической долготе на 24 часовых пояса (от 0 до 23). Внутри каждого пояса часы показывают одно и то же поясное время, равное местному времени географического меридиана, который проходит через середину данного пояса. При переходе от пояса к поясу время изменяется на 1 час (к востоку – увеличивается, к западу – уменьшается).

За нулевой принят пояс, средний меридиан которого совпадает с нулевым (гринвичским) меридианом. Время этого пояса называется гринвичским, или всемирным временем.

Для того чтобы определить номер пояса, в котором находится какая-либо точка, долгота которой известна, следует долготу разделить на 15: если в остатке получается меньше  $7,5^\circ$ , то частное и укажет номер пояса; если же остаток больше  $7,5^\circ$ , то, чтобы получить номер пояса, надо к частному прибавить единицу.

На деле действительные границы часовых поясов не всегда совпадают с меридианами, кратными по долготе  $7,5^\circ$ . Они устанавливаются правительствами стран и во многих случаях проходят по государственным или административным границам, по рекам, побережьям и т. д.

В бывшем СССР постановлением от 16 июля 1930 г. было введено декретное время, которое на 1 ч больше поясного.





Декретное время второго пояса называется декретным московским временем. По нему и производят наблюдения на метеорологических станциях.

## ***Лабораторная работа 1***

### ***Сроки и порядок наблюдения на метеорологических станциях***

#### ***Задачи лабораторной работы***

1. Проработать по «Практикуму по агрометеорологии» и методическим указаниям тему «Организация и работа метеорологических станций и агропостов»:

- метеорологические станции и посты;
- метеорологическая площадка;
- агропост;
- сроки и порядок наблюдения;
- понятие о времени.

2. На областной государственной метеорологической станции ознакомиться с оснащённостью приборами и программой наблюдений.

#### ***Порядок выполнения работы***

В связи с тем, что метеорологические наблюдения проводят по местному и декретному московскому времени, в ряде случаев возникает необходимость перехода от декретного времени к местному. Для этого надо знать долготу (например,  $\lambda = 36^{\circ}15'$ ) и время своего пояса (декретное время 13 часов 35 минут).

Расчёты проводят по следующей форме:

1. Определить поясное время уменьшением декретного на один час (13 часов 35 минут – 1 час = 12 часов 35 минут);

2. Определяют номер часового пояса. Номер пояса высчитывается делением долготы места на 15 ( $36^{\circ}15' : 15 = 2$ );

3. Определяют центральный меридиан. Это делается умножением 15° на номер пояса ( $15^{\circ} \times 2 = 30^{\circ}$ );

4. Определяют разницу в долготе центрального меридиана и данного места ( $36^{\circ}15' - 30^{\circ} = 6^{\circ}15'$ ) и, пользуясь соотношением 1° дуги соответствует 4 минутам, 1' дуги – 4 секундам, переводят эту разницу во время ( $4 \text{ мин} \times 6 + 4 \text{ сек.} \times 15 = 25 \text{ мин}$ );

5. Для определения местного времени полученную разницу во времени прибавляют или отнимают от поясного времени в зависимости от расположения данного пункта по отношению к центральному меридиану ( $12 \text{ часов } 35 \text{ минут} + 25 \text{ минут} = 13 \text{ часов}$ , данный пункт расположен восточнее центрального меридиана).

### *Контрольные вопросы*

1. Выразить в градусах и минутах дуги время  $2 \text{ ч } 32 \text{ мин } 16 \text{ с}$ ,  $3 \text{ ч } 16 \text{ мин } 48 \text{ с}$ ,  $10 \text{ ч } 34 \text{ мин } 36 \text{ с}$ .

2. Перевести в единицы времени углы  $30^{\circ}15'$ ,  $42^{\circ}10'$ ,  $55^{\circ}40'$ ,  $102^{\circ}14'$ ,  $33^{\circ}17'$ .

3. На станции с долготой  $86^{\circ}54'$  декретное время  $10 \text{ ч } 40 \text{ мин}$ . Определить, в каком поясе расположена станция, чему равно в этот момент ее местное среднее и московское декретное время.

4. Определить местное среднее солнечное и декретное время на долготе  $73^{\circ}40'$  в полдень на гринвичском меридиане.

5. Определить местное среднее солнечное время на долготе  $205^{\circ}$  в момент, когда на долготе  $105^{\circ}$  местное время  $2 \text{ ч } 40 \text{ мин}$ .

6. Пензенская область расположена между долготами  $42^{\circ}10'$  и  $47^{\circ}00'$  восточной долготы. Определить разницу между среднесолнечным временем крайних пунктов области, поясным временем тех же пунктов, а также разницу между поясным временем области и мировым временем.

## **1.2 Измерение солнечной радиации**

### ***1.2.1 Приборы для измерения радиационного баланса и его составляющих***

Лучистая энергия Солнца является основным и практически единственным источником тепла для поверхности Земли и для ее атмосферы.

Солнце – раскаленный газовый шар, объем которого в  $1,3 \times 10^6$  раз больше объема Земли, а масса составляет 99,87 % массы всей Солнечной системы.

Спектральный состав солнечной радиации около 99 % всей энергии солнечной радиации приходится на интервал длин волн между 0,1 и 4,0 мк (микрон) и всего 1,0 % остается на радиацию с меньшими и большими длинами волн, вплоть до рентгеновских лучей и радиоволн.

Видимый свет занимает узкий интервал длин волн от 0,40 до 0,75 мк. Однако в этом интервале заключается половина всей солнечной лучистой энергии (45 %). Почти столько же (47 %) приходится на инфракрасные лучи, а остальные 7 % – на ультрафиолетовые.

Земля вращается вокруг Солнца по мало растянутому эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Среднее расстояние от Земли до Солнца  $149,5 \times 10^6$  км (наименьшее – 2 января ( $147,0 \times 10^6$  км), наибольшее – 5 июля ( $152,0 \times 10^6$  км)).

В международной системе (СИ) интенсивность потока радиации выражают в  $\text{Вт/м}^2$  ( $1 \text{ кал/см}^2 \times \text{мин} = 698 \text{ Вт/м}^2$ ).

Для проведения актинометрических наблюдений используются следующие актинометрические приборы: актинометр, пиранометр (походный альбедометр) и балансомер.

Актинометр предназначен для измерения прямой солнечной радиации.

**Термоэлектрический актинометр АТ-50** состоит из приемной части, в качестве которой служит черный диск, сделанный из

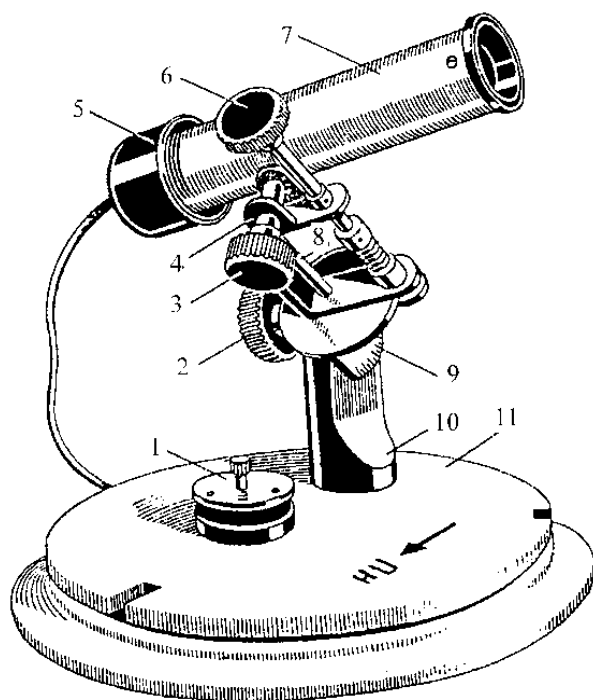


Рисунок 2 – Термоэлектрический актинометр АТ-50:

1 – колпачок, 2, 3, 6 – винт, 4 – ось, 5 – экран, 7 – трубка, 8 – ось штатива, 9 – сектор широты, 10 – штатив, 11 – основание

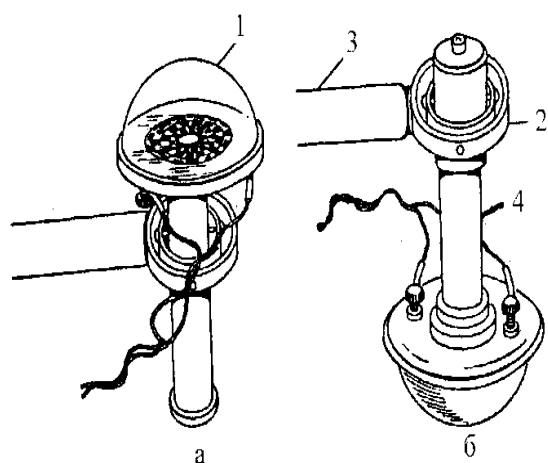
серебряной фольги и направленный на Солнце. На противоположной стороне диска приклеены активные спаи термоэлектрической батареи из константана и манганина, которые имеют вид звезды. Пассивные спаи приклеены к медному кольцу, которое закреплено на нижнем конце трубки 7 актинометра (рисунок 2). Внутри трубки имеется семь диафрагм, которые предохраняют приемную часть от воздействия ветра, рассеянной и отраженной радиации. Для наблюдений актинометр устанавливается так, чтобы его основание 11 и штатив 10 были ориентированы стрелками на север. Затем

актинометр устанавливают по широте. Для этого ослабляют винт 2 и ставят сектор широт 9 соответственно широте места. С помощью винтов 3 и 6 направляют трубу 7 на Солнце. Ось 8 штатива и винт 6 располагаются по сторонам света. Можно вращать винт 6 и вести трубку за Солнцем, корректируя ее наклон на оси 4, соответственно магнитному азимуту. Направление трубки на Солнце осуществляется при помощи экрана 5 на нижнем конце трубки, где должна концентрично располагаться тень от оправы на верхнем конце трубки. Колпачок 1 одевается на трубу при определении контроля места нуля. Термобатарея актинометра при помощи электрических проводов соединяется с гальванометром или интегратором.

**Походный термоэлектрический альбедометр АП-3×3** служит для измерения рассеянной радиации ( $D$ ) при затемнении его темным экраном, суммарной радиации ( $Q$ ) и отраженной радиации ( $R_k$ ), что поступает на горизонтальную поверхность.

На практике он применяется главным образом для измерения альбеда деятельной поверхности. Альбедометры бывают двух типов: стационарные и походные.

Они состоят из приемника (термоэлектрической батареи) от



**Рисунок 3 – Альбедометр:**

- 1 – головка пиранометра,
- 2 – карданный подвес,
- 3 – рукоятка, 4 – трубка

пиранометра 1, карданного подвеса 2, который способен самоуравновешиваться и рукоятки 3 (рисунок 3). Такое устройство обеспечивает горизонтальное положение приемной части альбедометра в двух положениях: приемником вверх для измерения суммарной и рассеянной радиации (рисунок 3, а) и приемником вниз (рисунок 3, б) для измерения отраженной радиации.

Для осуществления наблюдений рукоятка 3 прикрепляется к трубке 4. С помощью трубки альбедометру придается соответствующее положение. После определения суммарной и отраженной радиации вычисляется альbedo по формуле.

**Балансомер термоэлектрический** применяется для измерения радиационного баланса ( $B$ ) деятельной поверхности. Прибор представляет собой круглую плоскую оправу 1 диаметром 100 мм, в середине которой располагается приемник в виде квадратных медных пластинок 2 (рисунок 4).

Наружная поверхность этих пластинок затемнена. К оправе присоединена рукоятка 3. Между медными пластинами располагаются 10 специальных термобатарей. Каждая батарея представляет медный брусок, который имеет изоляционное покрытие. На это покрытие намотана константовая стружка. Половина каждого витка намотки изолирована, а вторая – посеребрена. Все батареи соединены между собой последовательно.

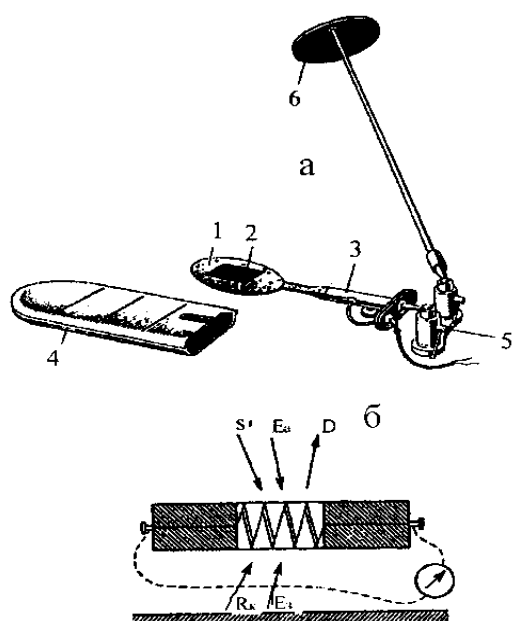


Рисунок 4 – Балансомер термоэлектрический:

а – общий вид, б – схема  
1 – оправка, 2 – термобатарея,  
3 – рукоятка, 4 – крышка,  
5 – шарниры, 6 – теневой экран

Провода от первой и последней батарей через рукоятку 3 выходят наружу. Балансомер в нерабочем состоянии закрывается крышкой 4. В комплект балансомера входит колодка с двумя шарнирами 5. К одному шарниру прикрепляется балансомер, а к другому – теневой экран 6. Последний необходим для затемнения прибора от прямой солнечной радиации. Балансомер устанавливается строго горизонтально и подключается к гальванометру или интегратору.

При измерении днем приемник, который направлен к небосводу, принимает суммарную радиацию  $Q$  и встречное излучение атмосферы  $E_a$ . Приемник, который направлен к земной поверхности, принимает отраженную радиацию  $R_k$  и собственное излучение земной поверхности  $E_z$ . Суммарная радиация и встречное излучение атмосферы представляют собой приходные составляющие, а отраженная радиация и собственное излучение земной поверхности – расходные составляющие радиационного баланса. Днем радиационный баланс положительный, а ночью – отрицательный. Ночью, когда суммарной радиации нет, радиационный баланс равен эффективному излучению ( $B = E_{эф}$ ).

Все вышеперечисленные приборы (актинометр, пиранометр, балансомер) по отдельности соединяются с помощью проводов со стрелочным гальванометром ГСА-1 или интегратором, которые предназначены для измерения тока, возникающего в термо-батареях актинометрических приборов. Так как гальванометр и интегратор не показывают интенсивность радиации, а дают пропорционально ей силу тока, то для перевода отсчетов в энергетические единицы (кВт/м<sup>2</sup>, МДж/м<sup>2</sup>, кал/см<sup>2</sup> × мин). Необходимо умножить эти отсчеты на переводной коэффициент данной пары приборов (цена одного деления гальванометра или интегратора).

*Гальванометрами* называют приборы, предназначенные для измерения слабых токов (~10–5А и менее). Переводной коэффициент вычисляют путем сравнения приборов с абсолютным прибором или вычисляют на основании данных паспорта актинометрических приборов и гальванометра по формуле

$$a = \frac{\alpha}{1000 \times k} \times (R_6 + R_{\Gamma} + R_{\text{д}})$$

где  $a$  – переводной коэффициент;

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

$k$  – чувствительность прибора, мВ×см<sup>2</sup>×мин/кал;

$R_6$  – сопротивление термобатареи прибора, Ом;

$R_{\Gamma}$  – внутреннее сопротивление гальванометра, Ом;

$R_{\text{д}}$  – дополнительное сопротивление гальванометра, включенное в наружную цепь, Ом.

Величины  $a$ ,  $k$ ,  $R_6$ ,  $R_{\Gamma}$ ,  $R_{\text{д}}$  приводятся в поверочных свидетельствах приборов.

## **Лабораторная работа 2** **Измерение прямой солнечной радиации**

### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство термоэлектрического актинометра, измерить прямую солнечную радиацию и рассчитать интенсивность ее на горизонтальную поверхность.

2. Решение задач.

### *Порядок выполнения работы*

1. Знакомятся с устройством и принципом работы термоэлектрического актинометра.

2. Снимают крышку с трубки актинометра, включают электрическую лампу, имитирующую искусственное солнце и наводят трубку актинометра на лампу. Если солнечный день, то трубку актинометра наводят на солнце.

3. Подключают два выводных провода от актинометра к клеммам гальванометра «+» и «Р» так, чтобы стрелка отклонилась вправо от нуля. Если стрелка отклоняется влево, то провода меняют местами.

4. Медленно поворачивают трубку актинометра в вертикальной и горизонтальной плоскостях, добиваясь максимального отклонения стрелки гальванометра вправо.

5. Закрывают трубку актинометра крышкой, не нарушая его положения, и через 1 минуту берут отсчет по шкале гальванометра с точностью до 0,1. Это нулевое положение стрелки  $N_1^0$ , называемое еще «место нуля», записывают в таблицу 1.

*Таблица 1 – Результаты вычислений прямой солнечной радиации  $S$  по показаниям актинометра и гальванометра*

Место нуля			Отсчет по гальванометру			Средний отсчет $N_{\text{ср}}$	Поправка к гальванометру $\Delta N$	Исправленный отсчет $N_{\text{испр.}}$	Фактическое отклонение стрелки гальванометра $N$	Переводной коэффициент $a$	Интенсивность радиации $S$ , кал/см <sup>2</sup> ·мин
$N_1^0$	$N_2^0$	$N_{\text{ср}}^0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$						

6. Снимают крышку с трубки актинометра и по истечении 1 мин берут первый отсчет по шкале гальванометра  $N_1$ , затем с интервалом 10–15 с берут еще два отсчета  $N_2$  и  $N_3$ . Отсчеты производят в целых и десятых долях делений (десятые доли отсчитываются на глаз) и записывают в таблицу 3.



7. Закрывают крышкой актинометр, выжидают 1–2 мин и отсчитывают нулевое положение стрелки  $N_2^0$  гальванометра после измерений.

8. Определяют среднее значение места нуля по зависимости

$$N_{cp}^0 = \frac{N_1^0 + N_2^0}{2}$$

и средний отсчет по гальванометру

$$N_{cp} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}.$$

9. По поверочному свидетельству, в зависимости от величины среднего отсчета  $N_{cp}$ , определяют поправку на шкалу гальванометра  $\Delta N$  и температурную поправку  $\Delta N_t$  и находят исправленную величину среднего отсчета  $N_{испр}$  по формуле

$$N_{испр} = N_{cp} \pm \Delta N + \Delta N_t.$$

10. Определяют величину фактического отклонения стрелки гальванометра  $N$  по разности между исправленным отсчетом  $N_{испр}$  и средним местом нуля  $N_{cp}^0$ :

$$N = N_{испр} - N_{cp}^0.$$

11. Вычисляют интенсивность прямой солнечной радиации  $S$  в кал/см<sup>2</sup>×мин путем умножения фактического отклонения стрелки гальванометра  $N$  на переводной коэффициент прибора, который дается в поверочном свидетельстве или определяется по формуле

$$S = a \times N.$$

Результаты вычислений заносят в таблицу 1. Поправки на шкалу гальванометра  $\Delta N$  представлены в таблице 2.

*Таблица 2 – Шкаловые поправки к гальванометру  $\Delta N$*

Деление шкалы	5	10	15	20	30	40
Поправка $\Delta N$	–0,7	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2

### **Лабораторная работа 3** **Измерение суммарной солнечной радиации**

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство термоэлектрического пиранометра, измерить суммарную радиацию и рассчитать ее интенсивность на горизонтальную поверхность.

## 2. Решение задач.

### *Порядок выполнения работы*

1. Знакомятся с устройством и принципом работы пиранометра.
2. Накрывать приемную часть пиранометра крышкой и выждать 60 с.
3. Отсчитать нулевое положение стрелки гальванометра с точностью до десятых долей деления шкалы  $N_0$ .
4. Снять крышку, затенить экраном приемную часть пиранометра и выждать 60 с.
5. Отсчитать показания гальванометра три раза с промежутками в 20 с ( $N_1, N_2, N_3$ ).
6. Отвести экран и выждать 60 с.
7. Отсчитать показания гальванометра три раза с промежутками в 20 с ( $N_4, N_5, N_6$ ).
8. Накрывать приемную часть пиранометра крышкой и выждать 60 с.
9. Отсчитать нулевое положение стрелки гальванометра  $N_2^0$ .
10. Из серии отсчетов по гальванометру для каждого вида радиации определяют среднее значение  $N_d$  и  $N_Q$ :

$$\bar{N}_d = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} \quad \bar{N}_Q = \frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}.$$

11. Получают исправленные значения  $N_d$  и  $N_Q$ . Для этого по средним значениям определяют шкаловые поправки  $\Delta N_d$  и  $\Delta N_Q$  из поверочного свидетельства гальванометра и вычитают среднее нулевое показание гальванометра  $N_0 = \frac{N_{01} + N_{02}}{2}$ :

$$N_d = \bar{N}_d + \Delta N - N_0 \quad N_Q = \bar{N}_Q + \Delta N - N_0.$$

12. Для определения рассеянной радиации в  $\text{кал/см}^2 \times \text{мин}$  показания гальванометра  $N_d$  умножают на переводной множитель  $a$ :

$$D = N_d \times a$$

13. Для определения суммарной радиации в  $\text{кал/см}^2 \times \text{мин}$  применяют поправочный множитель на высоту солнца над горизонтом  $F_h$ , который берется из поверочного свидетельства:

$$Q = a [(N_Q - N_d) \times F_h + N_d].$$

### Пример решения задач

Вычислить радиационный баланс поверхности сухой травы при высоте Солнца над горизонтом  $h_0 = 30^\circ$ , если коэффициент прозрачности атмосферы 0,70, рассеянная радиация составляет 16 % инсоляции, эффективное излучение равно  $0,12 \text{ кВт/м}^2$ .

#### Решение

1. При  $h_0 = 30^\circ$  число масс атмосферы равно 2.  
Вычислим:  $S = S_0 \times p^m = 1,37 \times 0,70^2 = 0,67 \text{ кВт/м}^2$ ;  
тогда  $S' = S \times \sin h_0 = 0,67 \times 0,5 = 0,34 \text{ кВт/м}^2$ .
2. Находим рассеянную радиацию  $D = 0,34 \times 0,16 = 0,05 \text{ кВт/м}^2$ .
3. Вычисляем суммарную радиацию:  
 $Q = S' + D = 0,34 + 0,05 = 0,39 \text{ кВт/м}^2$ ;  
и поглощенную радиацию:  $Q_{\text{полн}} = Q \times (1 - A) = 0,39 \times 0,81 = 0,32 \text{ кВт/м}^2$ .
4. Определяем радиационный баланс:  $B = 0,32 - 0,12 = 0,2 \text{ кВт/м}^2$ .

#### Задачи для решения

1. Определить суммарную радиацию, если при высоте Солнца  $43,3^\circ$  рассеянная радиация составляет 21 % потока прямой радиации, которая равна  $0,87 \text{ кВт/м}^2$ .
2. Поток солнечной радиации равен  $0,69 \text{ кВт/м}^2$ . Поток рассеянной радиации составляет 10 % солнечной постоянной. Вычислить суммарную радиацию (измерения проводились при высоте Солнца  $35^\circ$ ).
3. При высоте Солнца  $32^\circ$  поток солнечной радиации равен  $0,98 \text{ кВт/м}^2$ , а поток рассеянной радиации составляет  $0,19 \text{ кВт/м}^2$ . Определить, какое количество тепла поглощают поверхности сухой травы и сухого чернозема.
4. Сколько тепла получают поверхности озера и песчаного берега при высоте солнца  $50^\circ$ , если поток солнечной радиации  $0,79 \text{ кВт/м}^2$  и рассеянная радиация  $0,19 \text{ кВт/м}^2$ .
5. Какое количество тепла получает от Солнца черноземное поле ( $A = 10 \%$ ) за 1 час, если поток солнечной радиации равен  $0,77 \text{ кВт/м}^2$ , а рассеянная радиация составляет 25 % прямой? Средняя высота Солнца за этот час  $28^\circ$ .

#### Контрольные вопросы

1. Что называется солнечной радиацией?

2. В каких единицах измеряется интенсивность лучистой энергии?

3. Что понимают под прямой, рассеянной, суммарной и отраженной радиацией?

4. Что такое излучение Земли, атмосферы и эффективное излучение?

5. Что такое альбедо, от чего зависит его величина?

6. Что такое радиационный баланс земной поверхности и как записывается уравнение баланса для дня и ночи?

7. Какие приборы используются для измерения прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации?

### 1.3 Измерение температуры почвы и воздуха

Температура – характеристика теплового состояния среды или отдельного тела, измеряемая по той или иной температурной шкале с помощью термометра любого типа.

Каждая температурная шкала содержит две или несколько *реперных точек*, обозначающих температуру какого-либо воспроизводимого процесса. Общепринятыми реперными точками являются точки таяния льда и кипения воды. В практической метеорологии пользуются стоградусной шкалой Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) и шкалой Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$  – США, Англия). Переход от одной шкалы к другой делается по формулам:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$t^{\circ}\text{F} = 1,8 \times t^{\circ}\text{C} + 32.$$

Температура по Международной практической шкале измеряется в градусах Цельсия. Градус по этой шкале составляет 1/100 интервала между точками таяния льда ( $0^{\circ}\text{C}$ ) и кипения воды ( $100^{\circ}\text{C}$ ).

Для измерения температуры используют различные типы термометров: жидкостные, термоэлектрические, электротермометры сопротивления и деформационные термометры.

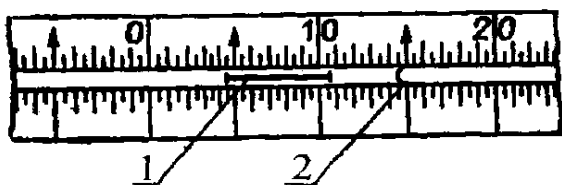
Наиболее распространены жидкостные термометры. Принцип действия жидкостных термометров основан на изменении объема жидкости в зависимости от повышения или понижения температуры. В качестве жидкости в таких термометрах исполь-

зуется ртуть, спирт и толуол. По своему строению жидкостные термометры делятся на два типа: со вставной шкалой и палочные. В последнем термометре шкала нанесена непосредственно на наружную сторону капиллярной трубки. Отсчеты во всех термометрах делают с точностью  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

**Измерение температуры почвы.** На метеорологических станциях наблюдения за температурой почвы осуществляются как на поверхности почвы, так и на различных глубинах. Для этого выбирают площадку размером  $4\times 6$  м, которую очищают от травяного покрова, а почву взрыхляют.

Для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова используют срочный, максимальный и минимальный термометры. Термометры устанавливают в середине оголенной площадки на расстоянии 5–6 см один от другого резервуарами на восток в приведенной ниже последовательности: первый с севера – срочный для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова, второй – минимальный, третий – максимальный. Срочный и минимальный термометры необходимо положить на поверхность строго горизонтально, а максимальный с небольшим наклоном в сторону резервуара. Термометры должны лежать на почве таким образом, чтобы их резервуары и наружная оболочка были наполовину заглублены в почву.

**Срочный термометр** применяется для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова в данный момент (сроки наблюдений). Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром. Он имеет вставную шкалу с ценой деления  $0,5^{\circ}$ .



*Рисунок 5 – Приспособление для отсчета минимальной температуры*

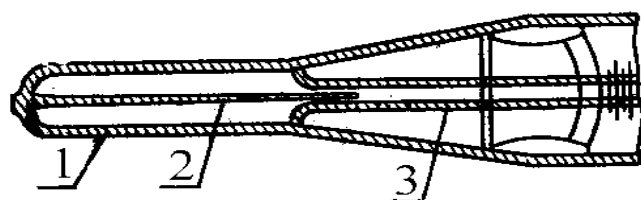
**Минимальный термометр** применяют для измерения самой низкой температуры за период между сроками наблюдений. Это термометр спиртовой, с ценой деления  $0,5^{\circ}$  со вставной шкалой и цилиндрическим резервуаром. Минимальные показания термометра определяются по легкому штифтику 1 (рисунок 5), изготовленному из темного стекла с утолщениями на концах. При подъеме резервуара термометра штифтик свободно перемещается в спирте, но не выходит из него, так как благодаря

нон 5), изготовленному из темного стекла с утолщениями на концах. При подъеме резервуара термометра штифтик свободно перемещается в спирте, но не выходит из него, так как благодаря

своей легкости не может прорвать поверхностную пленку 2, ограничивающую мениск спирта.

Штифтик подобран таким образом, что силы трения его о стенки капилляра больше силы расширения спирта и меньше силы поверхностного натяжения спирта. Поэтому при повышении температуры спирт, расширяясь, свободно обтекает штифт, а при понижении температуры, как только поверхностная пленка дойдет до штифтика, последний перемещается этой пленкой в сторону резервуара. Двигается он до тех пор, пока температура понижается. При повышении температуры движение его прекращается. Положение конца штифта, который наиболее удален от резервуара, показывает по шкале минимальную температуру, а мениск спирта – температуру в данный срок измерения. Для приведения минимального термометра в рабочее положение резервуар термометра приподнимают вверх и держат до тех пор, пока штифт не соприкоснется с мениском спирта.

**Максимальный термометр** служит для измерения самой высокой (максимальной) температуры за период между сроками наблюдений. Это ртутный термометр с цилиндрическим резер-



*Рисунок 6 – Приспособление для сохранения максимальных показаний термометра: 1 – дно резервуара, 2 – штифт, 3 – капилляр*

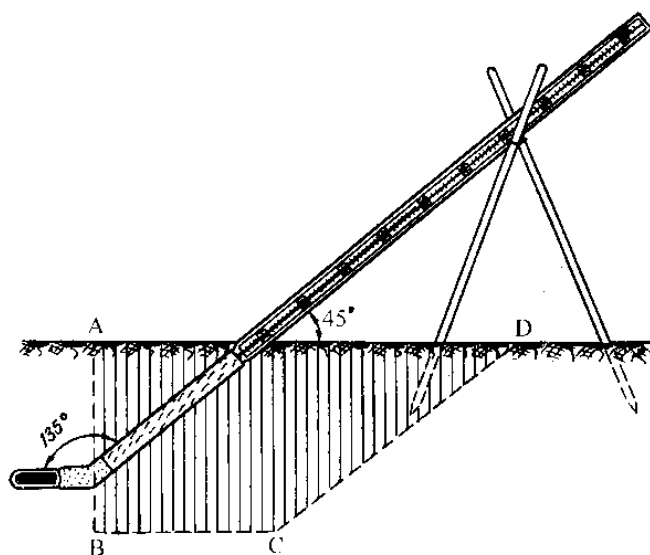
вуаром и вставной шкалой. Цена деления шкалы 0,5. Показания максимальных значений температуры этим термометром сохраняются благодаря стеклянному штифту 2, который впаивается в дно резервуара 1 (рисунок

6). Верхний конец штифта 2 входит в капилляр 3. В результате этого выход из резервуара в капилляр очень сужен. При повышении температуры ртуть в резервуаре расширяется и поднимается по капилляру, так как силы расширения ртути больше сил трения в месте сужения. При понижении температуры ртуть начинает уменьшаться в объеме, однако находящаяся в капилляре ртуть не может вернуться в резервуар, так как силы трения в месте сужения значительно превышают силы сцепления ртути. Столбик ртути, который останется в капилляре, показывает максимальную температуру за определенный промежуток времени. После отсче-

та максимальный термометр необходимо встряхнуть несколько раз сильными, но плавными движениями руки. После встряхивания показания максимального термометра должны быть близкими к показаниям срочного.

Для измерения температуры почвы на различных глубинах применяют ртутные коленчатые термометры Савинова и вытяжные термометры.

**Ртутные коленчатые термометры Савинова** (рисунок 7) служат для измерения температуры почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см (пахотный слой). Это комплект из четырех термометров, которые имеют вставную шкалу с ценой деления  $0,5^{\circ}$ . Резервуары термометров цилиндрические. Резервуар термометров изогнут под углом  $135^{\circ}$ .



*Рисунок 7 – Термометр Савинова*

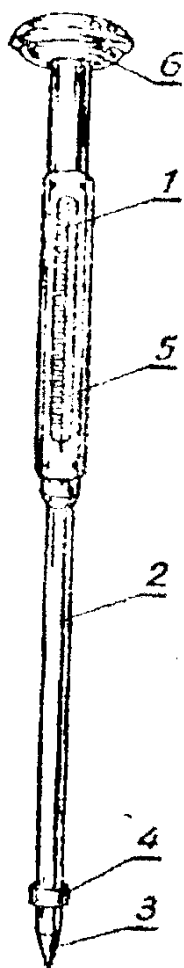
Капилляр от резервуара до начала шкалы изолирован термоизоляционным материалом. Термоизоляция уменьшает влияние конвективных токов воздуха в стеклянной оболочке, которые могут возникнуть вследствие разницы температуры почвы на различных глубинах.

Термометры Савинова устанавливают на одной площадке с термометрами для измерения температуры поверхности почвы в направлении с востока на запад. Их устанавливают весной после оттаивания почвы и убирают осенью. Для установки каждого коленчатого термометра выкапывают траншею в виде трапеции ABCD (рисунок 6).

Северная сторона АВ траншеи отвесная. В ней в углубления, параллельно поверхности почвы, вставляют резервуары термометров по мере возрастания глубины. После установки необходимо проверить угол наклона выступающей части термометра к поверхности почвы. Этот угол должен быть равен  $45^{\circ}$ . Затем траншею засыпают землей, сохраняя последовательность вынутых пластов.

В сроки измерений наблюдатель становится с северной стороны и последовательно снимает показания, начиная с термометра, который установлен на глубине 5 см.

**Термометр-щуп АМ-6** служит для измерения температуры почвы в полевых условиях на глубине от 3 до 40 см (рисунок 8).



Термометрическая жидкость в термометре – толуол. Термометр 1 с ценой деления  $1,0^{\circ}$  помещается в металлическую оправу 2, нижний конец которой заострен в виде конусообразного наконечника 3. В нем находится резервуар термометра. Чтобы тепло не передавалось от оправы к резервуару термометра, наконечник изолирован от остальной части оправы эбонитовой прокладкой 4. Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра его резервуар погружен в медные опилки. В верхней части оправы имеется прорезь 5, через которую видна шкала термометра. На противоположной стороне оправы нанесены деления в сантиметрах для определения глубины установки термометра. Верхний конец оправы заканчивается ручкой 6, служащей для упора при погружении термометра в почву.

Во время наблюдения термометр-щуп устанавливают в почву на заданную глубину и через 10–15 мин берут отсчет. Если глубина установки небольшая, отсчет можно делать, не вынимая термометр из почвы. Термометр-щуп переносят и хранят в вертикальном положении.

Рисунок 8 – Термометр-щуп АМ-16:

- 1 – термометр,
- 2 – оправка, 3 – наконечник,
- 4 – прокладка, 5 – прорезь

**Вытяжные ртутные термометры** служат для измерения температуры почвы на глубинах 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240 и 320 см. Они имеют цену деления  $0,2^{\circ}$ .

С целью уменьшения влияния внешней среды в момент отсчета термометр 1 вмонтирован в специальную оправу 2 с металлическим колпачком 3 (рисунок 9). Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра пространство между резервуаром



термометра и стенками колпачка заполнено медными опилками. Оправа с термометром крепится на деревянной штанге 4, длина которой зависит от глубины установки термометра. Штанга заканчивается колпачком 5 с кольцом 6, за

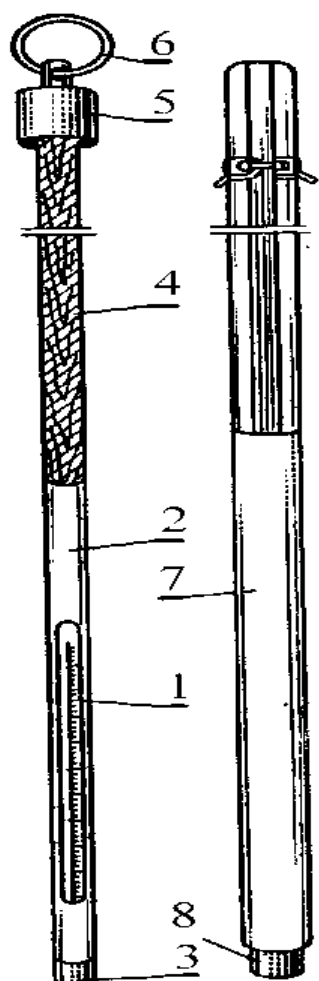


Рисунок 9 – Термометр вытяжной:

- 1 – термометр, 2 – оправа,
- 3 – металлический колпачок,
- 4 – деревянная штанга,
- 5 – колпачок, 6 – кольцо,
- 7 – эбонитовая трубка,
- 8 – металлическое доньшко

которое термометр вынимают из почвы. Вытяжные термометры опускают в пластмассовые или эбонитовые трубки 7, погруженные в почву на необходимую глубину и имеющие на нижнем конце металлические наконечники 8. Термометр воспринимает температуру только того слоя почвы, на котором находится металлический наконечник. Вытяжные термометры размещают на открытом месте с естественным покровом. С помощью бура делают скважины нужной глубины и в них устанавливают трубы 7 в один ряд через каждые 50 см в направлении с востока на запад. Трубы должны выступать над поверхностью почвы на 40–50 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 помоста, расположенного с северной стороны термометров.

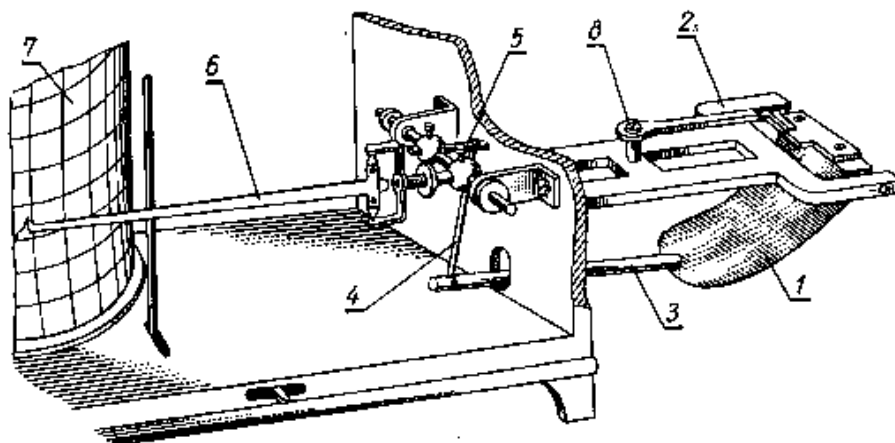
В сроки наблюдений термометры по очереди, начиная с наименьшей глубины, достают из трубки 7 за кольцо 6 и снимают отсчеты температуры. После этого термометр опускается в трубку. Наблюдения по

термометрам на глубинах 60, 80, 120, 160, 320 см проводят на протяжении года один раз в сутки, днем, а на глубинах 20 и 40 см – во все сроки наблюдений.

**Измерение температуры воздуха.** На метеорологических станциях для измерения температуры воздуха применяются термометры: психрометрический (срочный), максимальный и мини-

мальный. Для непрерывной регистрации температуры воздуха служит термограф.

**Термограф.** Термограф служит для непрерывной записи изменений температуры воздуха на протяжении суток или недели. Поэтому термографы бывают суточные и недельные. Он состоит из трех основных частей: приемной, передающей и регистрирующей (рисунок 10).



*Рисунок 10 – Термограф биметаллический:*

*1 – биметаллическая пластинка, 2 – колонка,  
3 – рычаг, 4 – тяга, 5 – рычаг коленчатого вала,  
6 – стрелка, 7 – барабан, 8 – винт*

Приемником термографа является биметаллическая пластинка 1, изготовленная из металлов с различным термическим коэффициентом линейного расширения. В результате этого биметаллическая пластинка изгибается пропорционально изменению температуры. Один конец биметаллической пластинки закреплен неподвижно к колодке 2, а второй – перемещается. К свободному концу биметаллической пластинки прикреплен рычаг 3, который соединен тягой 4 с рычагом 5 коленчатого вала. Вторым рычагом коленчатого вала является стрелка 6, заканчивающаяся пером, которое касается ленты барабана 7. Перо заполняется специальными чернилами с примесью глицерина.

Барабан вращается при помощи часового механизма вокруг оси, а перо, касаясь бумажной ленты, вычерчивает на ней график, который соответствует изменениям температуры воздуха.

Регистрирующая часть термографа – барабан 7 с часовым механизмом внутри. Благодаря часовому механизму барабан вращается вокруг неподвижной оси, укрепленной на основании корпуса. В зависимости от скорости вращения барабана термографы делятся на суточные и недельные.

Часовые механизмы бывают двух типов: суточные (продолжительность одного оборота барабана 26 ч) и недельные (продолжительность одного оборота барабана 176 ч). Бумажная лента термографа расчерчена прямыми горизонтальными и вертикальными дугообразными линиями. Горизонтальные линии образуют шкалу температуры с ценой деления  $1^{\circ}\text{C}$ . Вертикальные дугообразные линии образуют шкалу времени с ценой деления 15 мин для суточного термографа, 2 часа – для недельного. Перед запуском термографа на ленте делается засечка с указанием времени и температуры воздуха.

#### ***Лабораторная работа 4*** ***Измерение температуры почвы***

##### ***Задачи лабораторной работы***

1. Изучить устройство минимального, максимального, коленчатого и вытяжного термометров, термометра щупа.
2. Произвести отсчеты показаний всех термометров.

##### ***Правила техники безопасности***

При работе с ртутными приборами (в том числе с термометрами) надо соблюдать следующие правила: 1) на занятиях в лаборатории допускается работа с ртутными приборами только на специальных столах с бортиками; 2) термометры помещаются в специальные футляры и закрепляются на гнездах. При изучении термометра его можно осторожно вынуть из гнезда, а после работы с ним снова закрепить его в гнездах футляра; 3) все действия с термометрами, не предусмотренные правилами лабораторных работ, категорически запрещаются; 4) поломка ртутного термометра считается чрезвычайным происшествием, так как это может привести к загрязнению учебных помещений ртутными парами, из-за чего помещения становятся непригодными для занятий.

##### ***Порядок выполнения работы***

1. Установить термометры на соответствующие глубины на 10 минут.
2. Произвести отсчеты показаний всех термометров с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$  и записать в таблицы 3, 4.

3. Ввести шкаловые поправки в показания термометров и вычислить исправленные значения температур (таблица 5).

*Таблица 3 – Определение температуры почвы на различных глубинах пахотного слоя термометром щуп*

Количество измерений	Глубина погружения – 5 см			Глубина погружения – 10 см		
	Отсчет по термометру, °С	Поправка, °С	Исправленный отсчет, °С	Отсчет по термометру, °С	Поправка, °С	Исправленный отсчет, °С
Измерение 1						
Измерение 2						
Измерение 3						
Среднее значение						

*Таблица 4 – Отсчеты по термометрам (максимальный, минимальный, срочный, коленчатый, вытяжной)*

Дата	Наименование прибора		Время снятия отсчетов					
			12 часов			14 часов		
			Отсчет	Поправка	Исправленная величина	Отсчет	Поправка	Исправленная величина
	Срочный термометр							
	Минимальный термометр							
	Максимальный термометр							
	Коленчатые термометры, глубина установки, см	5						
		10						
		15						
		20						
	Термометр щуп							
	Вытяжной термометр							

*Таблица 5 – Поправка к термометрам, измеряющим температуру почвы*

Термометр	Интервал		Поправка
	от	до	
Срочный	-20,0	+0,0	-0,2
	0,0	+16,3	-0,1
	+16,4	+31,6	0,0
	+31,7	+46,8	+0,1
	+46,8	+58,0	+0,2
Коленчатый			
глубиной, см:			
5	-10,0	-1,7	0,0
	-1,6	+50,0	+0,1
10	-20,0	+5,7	0,0
	+5,8	+40,0	+0,1
15	-10,0	+15,0	+0,3
	+15,1	+35,0	+0,2
20	-15,0	+9,4	+0,1
	+9,5	+40,0	+0,2
Вытяжной	-20,0	0,0	-0,1
	0,0	10,0	+0,1
	10,0	30,0	0,2

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое суточный и годовой ходы температуры почвы?
2. Как строятся термоизоплеты?
3. Каково значение температуры почвы для сельскохозяйственного производства?

### **Лабораторная работа 5** **Измерение температуры воздуха**

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство психрометрического, минимального и максимального термометров.
2. Изучить устройство термографа.
3. Обработать ленту термографа.

### *Порядок выполнения работы*

1. Открыть психрометрическую будку, отсчитать показания психрометрического термометра.
2. Произвести отсчет показаний максимального и минимального термометров.
3. Данные отсчетов с точностью 0,1 °С записать в таблицу 6.

*Таблица 6 – Измерение температуры воздуха*

Термометр	Дата и время отсчета					
	16.10.2012 – 15 часов			17.10.2012 – 13 часов		
	отсчет	поправка	исправленная величина	отсчет	поправка	исправленная величина
Психрометрический						
Максимальный						
Минимальный						

4. Снять барабан термографа, наложить на него чистую ленту. Завести часовой механизм с помощью ключа до отказа и установить барабан на неподвижный вертикальный стержень.

*Таблица 7 – Поправки к термометрам*

Термометр	Интервал		Поправка
	от	до	
Психрометрический	–28,4	–21,9	–0,1
	–21,8	–6,9	–0,2
	–6,8	–1,5	–0,1
	–1,4	+40,0	0,0
Максимальный	–20,0	+10,0	+0,1
	+10,1	+30,0	0,0
	+30,1	+50,3	+0,1
Минимальный	–40,0	–37,2	+0,4
	–37,1	–31,7	+0,3
	–31,6	–25,0	+0,2
	–24,9	–10,0	+0,1
	–9,9	+5,0	0,0
	+5,1	+30,0	–0,1
	+30,1	+40,0	–0,2

5. Проверить нажим пера на ленту, предварительно заправив его чернилами.

6. Поставить перо термографа на деление ленты, соответствующее температуре воздуха по психрометрическому термометру.

7. Через сутки (неделю) снять и обработать ленту термографа, результаты занести в таблицы 8, 9 с точностью до 0,1 °С.

*Таблица 8 – Первичная обработка ленты термографа*

Время	дата	месяц	год
Прибор	Срочная температура	Поправка	Исправленная величина
Термометр психрометрический			
Термограф суточный			

*Таблица 9 – Обработка ленты термографа*

Время	дата	месяц	год
Прибор	Максимум	Минимум	Амплитуда
Термограф суточный			

Поправка к показанию термографа для данного срока наблюдений есть разность показаний термометра (с учетом поправки) и термографа. Полученную поправку алгебраически прибавляют к показанию термографа.

### *Контрольные вопросы*

1. Каковы причины, определяющие наличие суточного и годового хода температуры воздуха?

2. Чему равны суммы активных и эффективных температур воздуха выше 5 °С, если средняя суточная температура воздуха составляет:

Дата	1/IV	2/ IV	3/ IV	4/ IV	5/ IV
Среднесуточная $t_{\text{возд}}$	12,1	14,0	9,9	4,6	5,1

3. Что такое «континентальность» климата? С какой амплитудой следует связать это понятие – с суточной или с годовой?

## **Лабораторная работа 6**

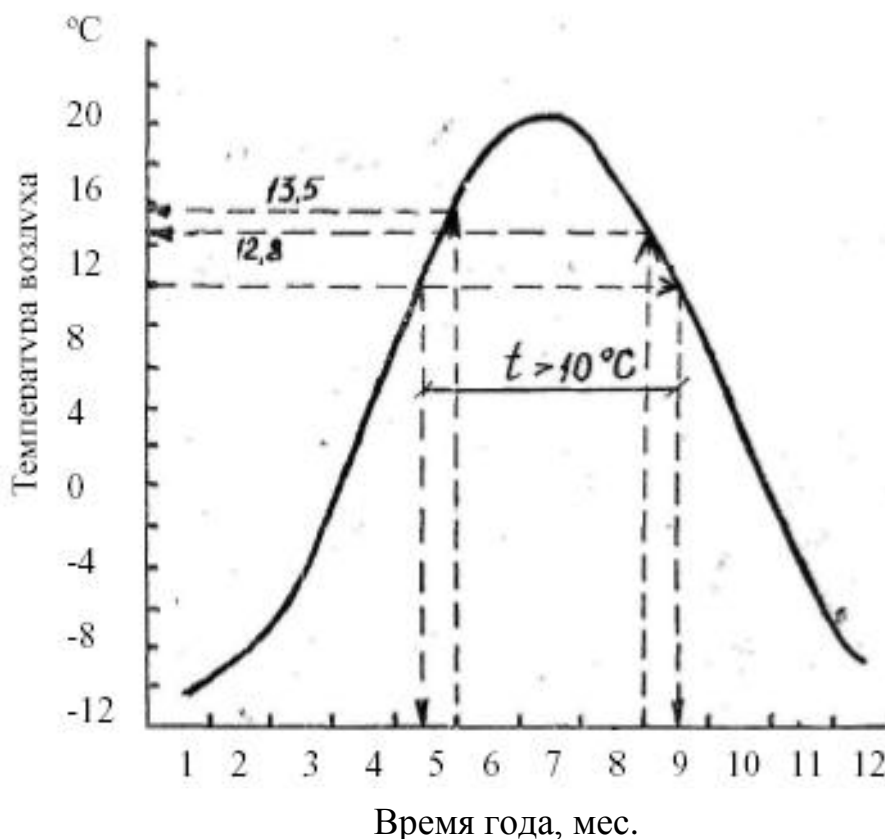
### **Построение графика годового хода температуры воздуха**

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Построить график годового хода температуры воздуха.
2. Определить амплитуду годового хода температуры.
3. Определить даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0; 5 и 10 °С. Вычислить продолжительность периодов с температурой выше 0 °С, выше 5 °С и выше 10 °С.
4. Вычислить сумму активных температур (выше 10 °С) за каждый месяц, а также в целом за весь период активной вегетации.

#### *Порядок выполнения работы*

При построении графика рекомендуется соблюдать масштаб: по оси ординат в 1 см – 2 °С, по оси абсцисс в 1 см – 1 месяц. Средне-месячную температуру нужно относить к 15 числу каждого месяца, полученные точки соединить плавной кривой. Пример построения графика приведен на рисунке 11. Данные для построения графика годового хода температуры воздуха приведены в приложении 3.



**Рисунок 11 – Годовой ход температуры воздуха**



Амплитуда годового хода температуры определяется как разность средних температур самого теплого и самого холодного месяцев.

Для определения дат перехода температуры воздуха через 0; 5 и 10 °С через указанные значения температуры проводят горизонтальные линии. Из точек пересечения этих линий с кривой температуры опускают перпендикуляры на ось абсцисс. Продолжительность периодов с температурой выше 0; 5 и 10 °С вычисляется как интервал времени между датами перехода температуры через соответствующие пределы. В нашем примере даты перехода температуры воздуха через 10 °С – 12 мая и 17 сентября, продолжительность периода активной вегетации – 128 дней.

Суммы активных температур вычисляются нижеследующим образом.

Подсчет суммы активных температур за месяц, в котором средняя температура была выше 10 °С, производится умножением среднемесячной температуры на число дней в данном месяце. Например, среднемесячная температура июня составляет 16,8 °С. Следовательно, сумма активных температур за июнь

$$\Sigma t_{акт} = 16,8 \times 30 = 504 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Для первого и последнего месяцев периода активной вегетации, среднемесячная температура которых ниже 10 °С, сумма активных температур вычисляется с помощью графика годового хода температуры воздуха. В нашем примере (рисунок 9) первым месяцем активной вегетации является май. Согласно графику, температура воздуха поднялась до 10 °С 12 мая, а 31 мая составляла 13,5 °С. Сначала нужно вычислить среднесуточную температуру за 19 дней мая с достаточной степенью точности:

$$t_{cp} = \frac{10,0 + 13,5}{2} = 11,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Затем можно вычислить сумму активных температур за май:

$$\Sigma t_{акт} = 11,8 \times 19 = 224,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Аналогичным образом вычисляется и сумма активных температур за последний месяц вегетации.

В нашем примере температура воздуха понижается до 10 °С – 17 сентября, а 1 сентября она составляет 12,8 °С. Поэтому сумма активных температур за сентябрь равна:

$$\Sigma t_{акт} = \frac{12,8 + 10,0}{2} \times 17 = 193,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Получив сумму активных температур для каждого месяца, вычисляют сумму активных температур в целом за весь период.

### *Контрольные вопросы*

1. Как ведется расчет суммы активных и эффективных температур?
2. Каковы закономерности распространения тепла в глубь почвы и распределение температуры почвы с глубиной?
3. Приведите суммы активных температур по агроклиматическим зонам Пензенской области.
4. Каковы закономерности изменения температуры воздуха с высотой?
5. Каковы типы годового хода температуры воздуха?

## **1.4 Влажность воздуха**

### ***1.4.1 Характеристики влажности воздуха***

Влажностью воздуха называют содержание водяного пара в атмосфере. Водяной пар является одной из важнейших составных частей земной атмосферы. Влажность воздуха характеризуется следующими величинами: абсолютной влажностью, парциальным давлением водяного пара, давлением насыщенного пара, относительной влажностью, дефицитом насыщения водяного пара, температурой точки росы.

*Абсолютная влажность  $a$  (г/м<sup>3</sup>)* – количество водяного пара, выраженное в граммах, содержащееся в 1 м<sup>3</sup> воздуха.

*Парциальное давление (упругость) водяного пара  $e$*  – фактическое давление водяного пара, находящегося в воздухе, измеряют в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.), миллибарах (мб) и гектопаскалях (гПа).

Между абсолютной влажностью и упругостью водяного пара существует зависимость

$$a = \frac{0,81 \times e}{1 + \alpha \times t},$$

где  $e$  – упругость водяного пара в миллибарах,  $t$  – температура воздуха, °С,  $\alpha$  – коэффициент расширения газа (0,00366).

*Давление насыщенного водяного пара, или упругость насыщения,  $E$*  – максимально возможное значение парциального давления при данной температуре; измеряют в тех же единицах, что и  $e$ .

*Относительная влажность  $f$*  – это отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного водяного пара при данной температуре. Выражают ее обычно в процентах:

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

*Дефицит насыщения* водяного пара (недостаток насыщения)  $d$  – разность между упругостью насыщения и фактической упругостью водяного пара:

$$d = E - e$$

Дефицит насыщения выражают в тех же единицах измерения, что и величины  $e$  и  $E$ .

*Точка росы  $t_d$  ( $^{\circ}\text{C}$ )* – температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе при данном давлении, достигает состояния насыщения относительно химически чистой плоской поверхности воды.

#### **1.4.2 Методы и приборы измерения влажности воздуха**

Влажность воздуха может быть измерена несколькими методами: абсолютным (весовым), психрометрическим и гигрометрическим (сорбционным). Наибольшее распространение получили психрометрический и гигрометрический (сорбционный).

*Психрометрический метод* измерения основан на охлаждении одного из двух психрометрических термометров за счет испарения, так как его резервуар обернут кусочком батиста и перед измерением смачивается дистиллированной водой. На этом принципе действуют стационарный и аспирационный психрометры.

Аспирационный психрометр является самым надежным прибором для определения температуры и влажности воздуха при положительной температуре. Однако хорошие результаты с его помощью получаются только при строгом соблюдении правил измерений. При производстве измерений его нельзя устанавливать вблизи сильно нагретых или значительно увлажненных поверхностей, так как в психрометр может засасываться соприкасавшийся с ними воздух, вследствие чего результаты измерений

температуры и влажности будут недостоверны. Следует обращать особое внимание на установку аспирационного психрометра; его лучше всего устанавливать на столбе, всегда с наветренной стороны, чтобы воздух шел от прибора к столбу.

Упругость водяного пара вычисляется по психрометрической формуле. Если на батисте смоченного термометра вода, то используется формула

$$e = E'_e - A \times p \times (-t') \times (+0,00115 \times t'),$$

Если же на батисте лед, то применяется формула

$$e = E'_l - 0,88229 \times A \times p \times (-t'),$$

где  $e$  – упругость водяного пара в миллибарах;

$E'_e$  и  $E'_l$  – насыщающая упругость водяного пара над плоской поверхностью чистой воды и чистого льда в миллибарах при температуре смоченного термометра;

$p$  – атмосферное давление в миллибарах;

$t$  – температура сухого термометра;

$t'$  – температура смоченного термометра;

$A$  – психрометрический коэффициент, зависящий от скорости вентиляции около резервуара смоченного термометра; для стационарного психрометра  $A = 0,0007947$  град<sup>-1</sup>, для аспирационного психрометра  $A = 0,000662$  град<sup>-1</sup>;

$(+0,00115 \times t')$  – дополнительный член, учитывающий зависимость скрытой теплоты парообразования от температуры;

0,88229 – коэффициент, учитывающий отличие удельной теплоты сублимации от удельной теплоты конденсации.

*Гигрометрический метод* измерения влажности воздуха основан на свойстве гигроскопических тел реагировать на изменение влажности воздуха.

**Стационарный психрометр** состоит из двух одинаковых психрометров с ценой деления  $0,2^\circ$ , помещенных рядом на особом штативе в психрометрической будке и стаканчика для дистиллированной воды. Левый термометр – «сухой», предназначен для измерения температуры воздуха, а правый – «смоченный», служит для измерения температуры собственного резервуара. Резервуар смоченного термометра плотно обернут батистом, нижний конец которого погружен в стаканчик с дистиллированной водой 2. При помощи батиста обеспечивается капиллярное поступление воды к поверхности резервуара и непрерывное поддержание его во влажном состоянии.

Отсчеты по психрометрическим термометрам производят быстро, причем сначала отсчитывают десятые доли, а потом целые градусы. Для определения влажности воздуха психрометры используются при температурах не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ .

При температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$  батист обрезают на 2–3 мм ниже термометра и стаканчик с водой убирают. Смачивают батист за 30 мин до отсчета водой комнатной температуры, погружая резервуар смоченного термометра в стаканчик. Стаканчик убирают после того, как температура смоченного термометра повысится на 2–3° выше  $0^{\circ}$ ; это значит, что лед на батисте растаял.

**Аспирационный психрометр** очень удобен для измерения влажности воздуха в полевых условиях. По принципу действия он аналогичен стационарному (рисунок 12).

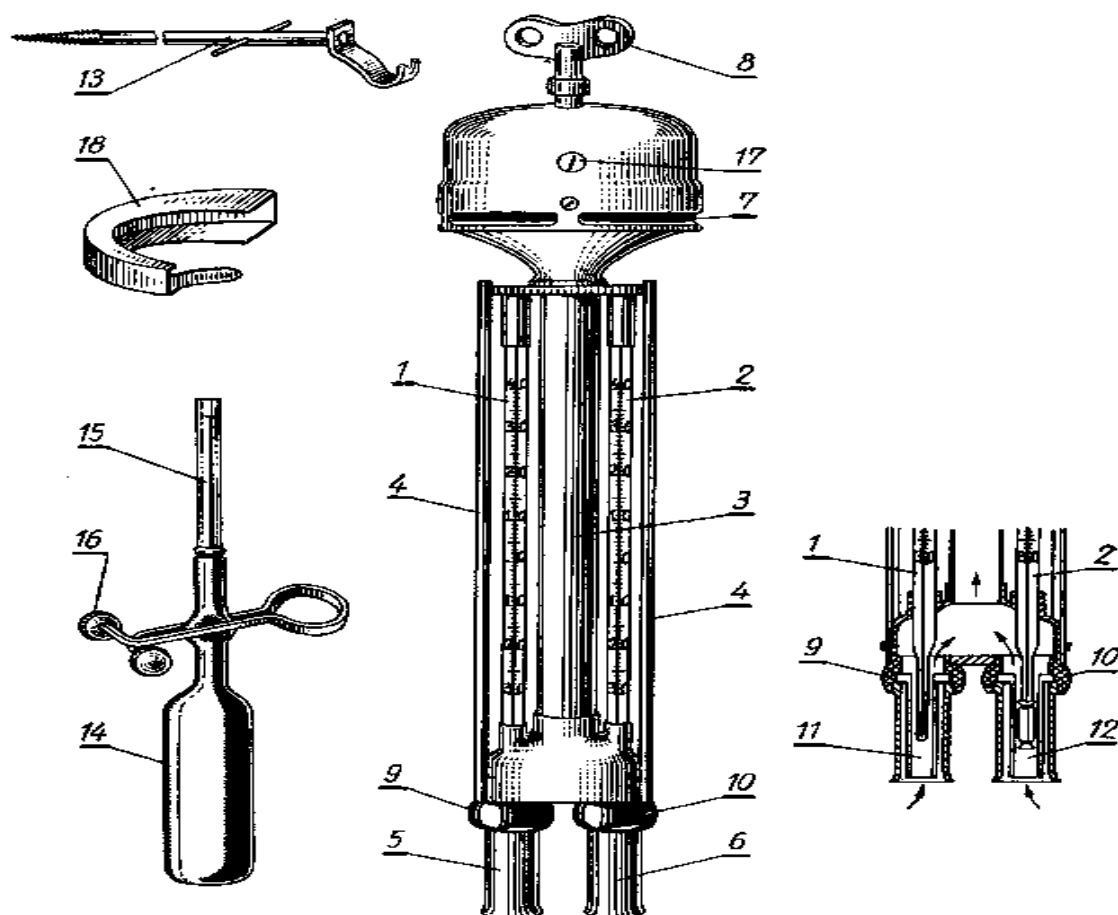
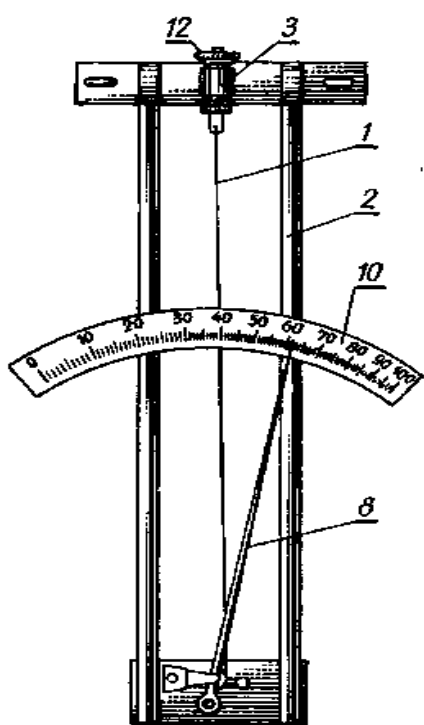


Рисунок 12 – Аспирационный психрометр:

1, 2 – термометры, 3 – трубка, 4 – планка,  
5, 6 – трубочки, 7 – аспиратор, 8 – ключ,  
9, 10 – кольца, 11, 12 – внутренние трубки,  
13 – крюк-подвес, 14 – груша,  
15 – пипетка, 16 – зажим

Термометры закреплены в оправе, состоящей из трубки 3, раздваивающейся книзу на две трубочки 5, 6, планок 4 и аспиратора 7. В трубочках 5, 6 имеются еще внутренние трубки 11, 12, в которых помещаются резервуары термометров.

Двойные трубки защищают резервуары от нагревания солнечными лучами. Чтобы тепло от корпуса не передавалось к резервуарам, трубки изолируются от него пластмассовыми кольцами 9, 10. Важной частью аспиратора является пружина, которую заводят ключом 8. В результате работы аспиратора вокруг резервуаров



термометров создается постоянный ток воздуха со скоростью 2 м/с. Поэтому показания прибора не зависят от скорости ветра. Для лучшего отражения солнечных лучей металлические части прибора никелированы. Психрометр подвешивают за железный крюк-подвес 13, который может быть ввинчен в деревянный столб на требуемую высоту. Для смачивания батиста пользуются резиновой грушей 14 со стеклянной пипеткой 15 и зажимом 16.

**Волосной гигрометр** применяется для определения относительной влажности воздуха при температуре воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Он является основным прибором для наблюдений за влажностью воздуха при отрицательных температурах. Приемной частью гигрометра (рисунок 13) служит обезжиренный человеческий волос 1, натянутый на металлическую раму 2. Один конец его закреплен в нижней части регулирующего винта 3, другой — в отверстии металлической дужки 5, насаженной на стержень 6, зажатый винтом 9. Крепление волоса внизу и вверху производится деревянными штифтами 4 и шеллаком. Стержень 6 и

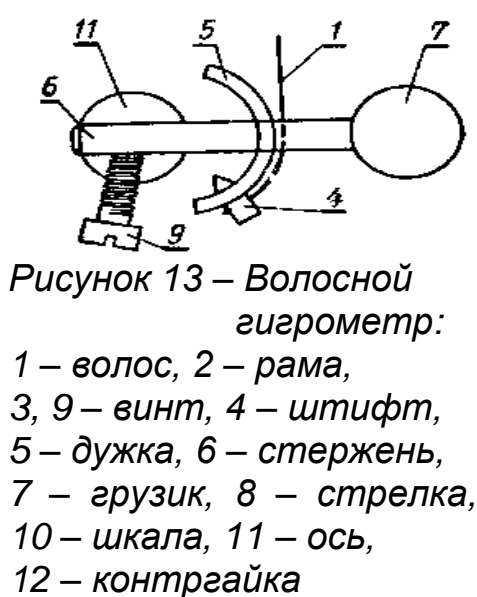


Рисунок 13 – Волосной гигрометр:

- 1 – волос, 2 – рама,
- 3, 9 – винт, 4 – штифт,
- 5 – дужка, 6 – стержень,
- 7 – грузик, 8 – стрелка,
- 10 – шкала, 11 – ось,
- 12 – контргайка

стрелка 8 укреплены на одной оси 11. Поэтому изменение длины волоса в результате изменения влажности воздуха вызывает поворот стрелки вокруг оси и смещение ее свободного конца по шкале 10 с делениями от 0 до 100 %. Цена деления равна 1 % относительной влажности. Так как волос меняет свою длину неравномерно, то и деления шкалы тоже неравные: в начале шкалы они крупнее, чем в конце. Волосной гигрометр устанавливают в психрометрической будке между сухим и смоченным термометрами. Перед подготовкой гигрометра к работе стрелку устанавливают соответственно показаниям психрометра. Отсчеты по гигрометру производят с точностью до 1 %. Волосной гигрометр – относительный прибор, поэтому в его показания вводят поправку, которую получают путем сравнения показаний гигрометра с показаниями психрометра.

**Гигрограф волосной** применяется для непрерывной регистрации изменений относительной влажности воздуха (рисунок 14).

Приемной частью волосного гигрографа, которая реагирует на изменение относительной влажности, является пучок обезжиренных человеческих волос 1, расположенных в рамке, что располагается за пределами корпуса прибора. Изменения длины пучка волос передаются через систему рычагов 3, 4 на стрелку 5, на конце которой крепится перо 6.

В средней части пучок волос оттянут крючком 2, соединенным с криволинейным рычагом 3, способным вращаться вокруг своей оси. Криволинейный рычаг 3 скользит по другому криволинейному рычагу 4, который имеет общую со стрелкой 5 ось. Для регулировки точности записи пера 6 служит установочный винт 7, при помощи которого регулируется необходимое натяжение пучка волос. При увеличении относительной влажности пучок волос удлиняется, а стрелка с пером перемещается вниз вдоль ленты барабана.

Регистрирующей частью гигрографа служит барабан с часовым механизмом. В зависимости от скорости вращения барабана гигрографы различают суточные и недельные. На барабан надевают бумажную ленту, на которой параллельные горизонтальные линии соответствуют относительной влажности воздуха в процентах, вертикальные дуги – времени; на суточных лентах одно деление равно 15 мин, а на недельных – 2 ч.

Для подготовки гигрографа к работе заводят часовой механизм, накладывают на барабан ленту, на которой отмечают время

установки, и ставят перо на заданное время и соответствующую влажность с помощью установочного винта 7.

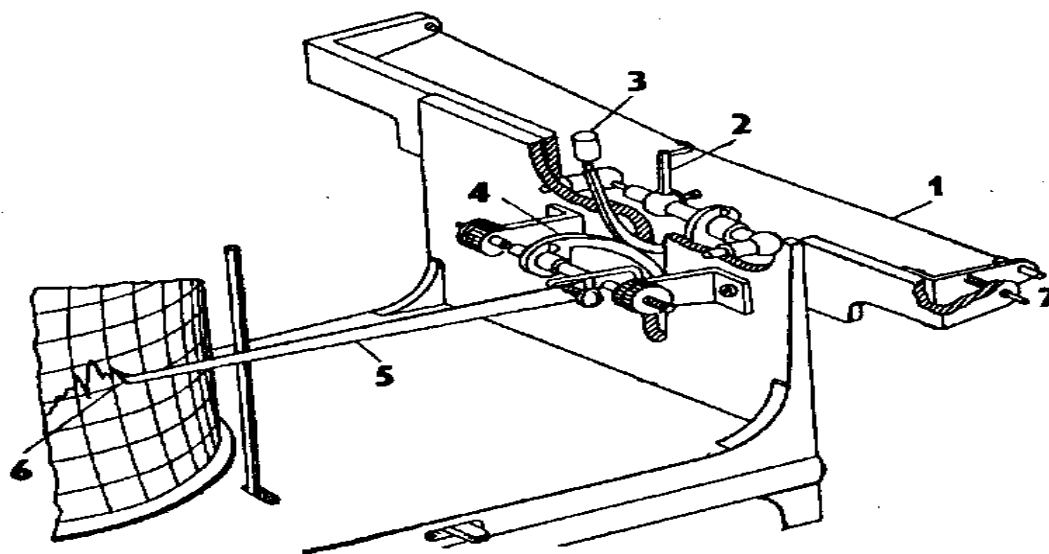


Рисунок 14 – Гигрограф волосной:

1 – волос, 2 – крючок, 3, 4 – рычаги, 5 – стрелка,  
6 – перо

Так как гигрограф является относительным прибором, то результаты измерения гигрографа сравнивают с показаниями психрометра. Для этой цели в сроки наблюдений по психрометру легким подъемом пера делают засечки на ленте гигрографа.

**Обработка ленты** гигрографа производится графическим способом. Для этого строят график по отсчетам психрометра и отсчетам, снятым с ленты гигрографа: по оси абсцисс откладывают относительную влажность воздуха по гигрографу, по оси ординат – относительную влажность по психрометру. Среди полученных точек на графике проводят линию, по которой определяют исправленные показания гигрографа. Дальнейшая обработка ленты заключается в том, что, пользуясь графиком, для каждого показания гигрографа, снятого с ленты, находят с точностью до 1 % соответствующее ему значение по психрометру и заносят в таблицу.

### *Лабораторная работа 7*

#### *Определение влажности воздуха аспирационным психрометром*

##### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство и принцип работы аспирационного психрометра.



2. Провести измерения по аспирационному психрометру и рассчитать парциальное давление (упругость) водяного пара, абсолютную влажность, относительную влажность воздуха, дефицит упругости водяного пара, точку росы.

3. Решение задач.

### *Порядок выполнения работы*

1. Аспирационный психрометр подвешивают на столб на необходимую высоту зимой за 30 мин, а летом за 15 мин до начала наблюдений.

2. Его ориентируют таким образом, чтобы прямые солнечные лучи падали на планки 4, а термометры 1 и 2 находились в тени.

3. Смачивают батист правого термометра при помощи резиновой груши 14 зимой за 30 мин, а летом за 4 мин до момента отсчета. Для этого пипетку 15 наполняют дистиллированной водой, после слегка надавливают на грушу и подводят воду на расстояние не ближе 1 см до края пипетки, фиксируя это положение при помощи зажима 16. После этого вводят пипетку в трубку 12, где расположен резервуар термометра, обернутый батистом. Затем открывают зажим (излишки воды при этом возвращаются назад в грушу) и вынимают пипетку с трубки психрометра.

4. После смачивания термометра ключом 8 заводят пружинный механизм аспиратора, который в момент снятия отсчета должен непрерывно работать.

5. Отсчеты производят быстро, летом через четыре минуты после смачивания, а зимой через 30 минут. Сначала отсчитывают десятые доли градуса по сухому и смоченному термометру, записывают результаты, а после отсчитывают и записывают целые градусы. Вычисление величин влажности воздуха производится по показаниям сухого и смоченного термометров с учетом сделанных поправок (таблица).

Парциальное давление (упругость) водяного пара  $e$  (гПа) определяют по психрометрической формуле с учетом разности температур сухого и смоченного термометров, атмосферного давления, давления насыщенного водяного пара.

Точку росы  $t_d$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) определяют по таблицам упругости насыщенного водяного пара  $E$ , зная величину парциального давления  $e$  (приложение 1).

### *Пример решения задач*

Определить относительную влажность воздуха при температуре 18,3 °С и парциальном давлении водяного пара 10,5 гПа.

#### *Решение*

1. Давление насыщенного пара  $E$  при температуре 18,3 °С составляет 21 гПа.

2. Определяем относительную влажность воздуха:

$$f = \frac{e}{E} \times 100 = \frac{10,5}{21,0} \times 100 = 50 \%$$

### ***Лабораторная работа 8***

#### ***Определение влажности воздуха стационарным психрометром***

##### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство и принцип работы стационарного психрометра.

2. Провести измерения по стационарному психрометру и рассчитать все параметры ( $e$ ,  $a$ ,  $t_d$ ,  $f$ ,  $d$ ,  $E$ ), характеризующие влажность воздуха.

3. Решение задач.

##### *Порядок выполнения работы*

###### *а) при положительной температуре*

1. Записать дату и время наблюдений.

2. Отсчитать показания сухого термометра с точностью до 0,1 °С (сначала десятые доли, затем целые градусы), записать отсчет в тетрадь.

3. Отсчитать показание смоченного термометра (с той же точностью и в том же порядке).

4. При температуре сухого термометра, близкой к 0°, определить, замерзла ли вода на батисте смоченного термометра. В том случае, если вода замерзла, в тетради после числа, обозначающего температуру смоченного термометра, ставится буква «л» (лед);

###### *б) при отрицательной температуре*

1. За 20 минут до отсчета смочить батист смоченного термометра, погружая его в резервуар в стаканчик с водой комнатной температуры.

2. Записать в тетради дату и время наблюдений.
3. Отсчитать показания сухого термометра с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$  (сначала десятые доли, затем целые градусы), записать отсчет в тетрадь.
4. Отсчитать показание смоченного термометра (с той же точностью и в том же порядке).

*Таблица 10 – Поправки к термометрам*

Вид прибора	Термометр	Интервал		Поправка
		от	до	
Станционный	Сухой	–39,0	–15,0	0,0
		–14,9	+10,0	+0,2
		+10,1	+17,0	0,0
		+17,1	+35,0	–0,1
	Смоченный	–35,0	–10,0	–0,1
		–9,9	+15,0	0,0
		+15,1	+40,0	+0,1
Аспирационный	Сухой	–7,4	–2,5	0,0
		–2,4	+11,6	+0,1
		+11,7	+15,0	+0,2
		+15,1	+18,3	+0,3
		+18,4	+25,0	+0,4
		+25,1	+35,0	+0,3
	Смоченный	–14,1	+26,1	0,0
		+26,2	+50,0	–0,2

5. Затем следует определить по барометру величину атмосферного давления в гПа;

*в) правила работы с психрометрическими таблицами при обработке наблюдений по станционному и аспирационному психрометрам:*

1. В таблице № 2 по данным о температуре сухого термометра ( $t$ ) и температуре смоченного термометра ( $t'$ ) определяется парциальное давление водяного пара ( $e$ ).

2. В таблице № 3 по данным о давлении воздуха ( $P$ ) и разности между температурой сухого и смоченного термометров ( $t - t'$ ) определяется поправка к парциальному давлению ( $\pm \Delta e$ ).

3. Рассчитывается исправленное значение парциального давления ( $e_{\text{испр}} = e \pm \Delta e$ ).

4. Необходимо снова обратиться к таблице № 2, в которой по температуре сухого термометра и значению  $e_{\text{испр}}$  определяются  $t_d, f, d$ .

5. На последнем этапе рассчитывается давление насыщенного пара  $E = e + d$ .

**Примечание.** При положительной температуре используются психрометрические таблицы в следующем порядке: № 2 → № 3 → № 2, при отрицательных температурах: № 2 → № 4 → № 2. Следует учесть, что поправки к парциальному давлению  $\Delta e$  для аспирационного психрометра только прибавляются.

### *Задачи для решения*

1. Определить дефицит насыщения и точку росы, если показания сухого термометра аспирационного психрометра  $25^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность воздуха равна 72 %.

2. Определить парциальное давление водяного пара при атмосферном давлении 1000 гПа, если показания сухого термометра по аспирационному психрометру составляют  $22,5^{\circ}\text{C}$ , а смоченного –  $18,2^{\circ}\text{C}$ .

3. Определить относительную влажность и дефицит насыщения при температуре  $26^{\circ}\text{C}$ , если точка росы равна  $22^{\circ}\text{C}$ .

4. Какова абсолютная влажность воздуха при температуре  $23^{\circ}\text{C}$  и парциальном давлении водяного пара 12 гПа?

5. Сколько граммов водяного содержится в  $1\text{ м}^3$  воздуха при температуре  $-2^{\circ}\text{C}$ , если парциальное давление водяного пара 10 Па?

### *Контрольные вопросы*

1. Какие существуют характеристики влажности воздуха?

2. Что такое насыщенный водяной пар и как изменяется упругость насыщенного водяного пара с повышением температуры?

3. Что такое абсолютная влажность, парциальное давление (упругость) водяного пара, относительная влажность, дефицит упругости и точка росы? В каких единицах они измеряются?

4. Какие существуют методы для измерения влажности воздуха?

5. Каковы суточный и годовой ходы упругости водяного пара и относительной влажности воздуха?

6. Устройство и принципы работы стационарного и аспирационного психрометров.

7. Чем отличается испарение от испаряемости?

## **1.5 Атмосферное давление**

### 1.5.1 Понятие об атмосферном давлении

*Атмосферное давление* – это сила, с которой давит на единицу земной поверхности столб воздуха, простирающийся от поверхности земли до верхней границы атмосферы.

В метеорологии атмосферное давление долгое время выражали в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

В 1930 г. для измерения атмосферного давления была введена новая международная единица давления – бар. В практике использовалась тысячная доля бара – миллибар (Мб).

С 1980 г. в качестве международной единицы для измерения атмосферного давления принят паскаль – давление, вызываемое силой в 1 Н на площадь 1 м<sup>2</sup>. На практике используют гектопаскаль (гПа): 1 гПа = 100 Па; 1 гПа = 1 мб = 0,75 мм рт. ст.; 1 мм рт. ст. = 1,33 мб = 1,33 гПа.

Характер изменения атмосферного давления с высотой для небольших разностей в высоте между двумя уровнями показывает формула барометрического нивелирования или формула Бабинне:

$$h = 16000 \times \frac{P_H - P_B}{P_H + P_B} \times \left( 1 + \alpha \times t_{cp} \right),$$

где  $h$  – превышение между двумя точками, м;

$P_H, P_B$  – давление воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, гПа;

$\alpha$  – коэффициент расширения газов (0,00366);

$t_{cp}$  – средняя температура воздуха на нижней и верхней точках.

Чем выше мы поднимаемся над уровнем моря, тем меньше воздуха остается над нами и, следовательно, тем ниже становится атмосферное давление.

Изменение атмосферного давления с высотой характеризуется барической (барометрической) ступенью  $h$ .

*Барической ступенью* называется высота, на которую необходимо подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на единицу его измерения (м/гПа).

Барическая ступень вычисляется по упрощенной зависимости Бабинне:

$$h = \frac{8000 \times \left( 1 + \alpha \times t \right)}{P_{CT}},$$

где  $t$  и  $P_{\text{СТ}}$  – соответственно температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) и давление воздуха (гПа) в точке, для которой вычисляется барическая ступень, по горизонтали, на котором изменяется давление, км.

### 1.5.2 Приборы для измерения атмосферного давления

Для измерения атмосферного давления наибольшее распространение имеют ртутные барометры и барометры-анероиды, а для непрерывной регистрации изменения давления – барографы.

**Станционный чашечный барометр** (рисунок 15) состоит из двух основных частей: стеклянной трубки 1 и пластмассовой чашки 2, заполненной ртутью.

Стеклянная трубка опущена открытым концом в чашку. Верхний конец трубки запаян. Чтобы воздух не попал в трубку, ее перед опусканием в чашку наполняют ртутью доверху. Чашка состоит из трех свинчивающихся частей. В верхней части 3, помимо отверстия для стеклянной трубки, имеется еще маленькое отверстие для сообщения ртути, находящейся в чашке, с атмосферным воздухом.

Для предохранения ртути от загрязнения это отверстие закрывается винтом 4 с кожаной шайбой. В средней части чашки имеется диафрагма с круглыми 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. При сборке прибора стеклянную трубку и чашку заполняют дистиллированной ртутью. Стеклянная трубка опущена открытым концом в чашку. Верхний конец трубки запаян. Чтобы воздух не попал в трубку, ее перед опусканием в чашку наполняют ртутью доверху.

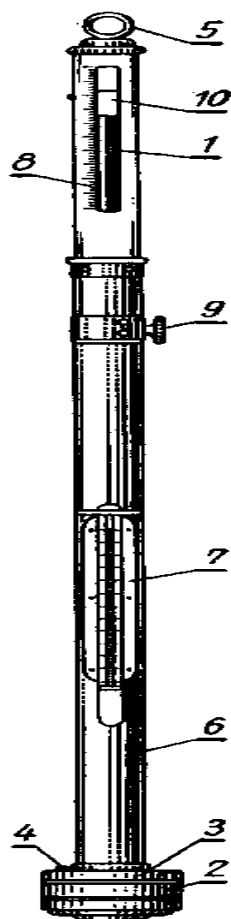


Рисунок 15 –  
Станционный  
чашечный барометр:

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

Стеклянная трубка окружена латунной защитной оправой 6, на которой имеются приспособления для отсчетов. В нижней части оправы укреплен термометр 7 для отсчета температуры прибора. В верхней части оправы имеется сквозная прорезь, позволяющая видеть мениск ртутного столба в стеклянной трубке. С левой стороны нанесена шкала 8 с пределами измерений от 680 до 1110 гПа. Вдоль стеклянной трубки с помощью кремальеры 9 перемещается кольцо с укрепленным на нем нониусом 10, который служит индексом для наводки на мениск ртутного столба и для отсчета десятых долей. Десять делений нониуса равны 9 делениям основной шкалы. В верхней части оправы имеется кольцо 5 для подвешивания барометра.

При отсчетах давления нониус подводят сверху до момента, пока не произойдет касание его нижнего среза верхней части мениска ртути в трубке. Отсчеты показаний барометра и термометра делают с точностью до 0,1 гПа и 0,1 °С. Целые гПа отсчитывают по нижнему обрезу нониуса, а десятые – по нониусу. Деление нониуса, совпадающее с делением основной шкалы, показывает число десятых долей шкалы.

Давление столба ртути барометра высотой  $H$  уравнивается атмосферным давлением  $p$ , которое воздействует на поверхность ртути в чашке барометра и определяется по формуле

$$p = d \times g \times H,$$

где  $d$  – плотность ртути, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Величины  $d$  и  $g$  характеризуются изменчивостью. Они зависят от температуры, широты и высоты места. Поэтому их необходимо привести к нормальным (стандартным) условиям путем введения соответствующих поправок.

К отсчетам по барометру вводятся следующие поправки: инструментальная, температурная, на ускорение силы тяжести.

*Инструментальная поправка* зависит от качества барометра. Эта поправка приведена в поверочном свидетельстве (сертификате), что прилагается к барометру. Она находится путем сравнения данного прибора с эталоном.

*Поправка на температуру* определяется на основе зависимости плотности ртути  $\rho$  от температуры. При увеличении температуры ртуть расширяется, плотность ее уменьшается и высота ртутного столба становится завышенной. Поэтому показания барометра приводят к температуре 0 °С. При положительных тем-

пературах поправку следует отнимать от отсчета по барометру, а при отрицательных – прибавлять.

*Поправка на ускорение силы тяжести* зависит от широты и высоты места над уровнем моря. Для сопоставления данных, полученных на разных широтах и высоте над уровнем моря, их приводят до стандартного ускорения силы тяжести, принятого на широте  $45^\circ$  и уровне моря. Поправка на ускорение силы тяжести будет положительной в высоких широтах ( $45-70^\circ$ ) и отрицательной – в низких ( $20-45^\circ$ ). В зависимости от высоты над уровнем моря эта поправка будет отрицательной на всех высотах, выше уровня моря.

**Барометр-анероид.** Он относится к деформационным барометрам, основанным на зависимости упругой деформации приемника под воздействием атмосферного давления. Приемником, который воспринимает изменение атмосферного давления, служит анероидная коробка 1, состоящая из двух спаянных между собой гофрированных мембран (рисунок 16). Воздух из коробки откачен. Наружное атмосферное давление направлено на сжатие коробки, но пружина 2 уравнивает стенки коробки в растянутом положении. В результате этого крышка коробки способна к деформациям в зависимости от изменения атмосферного давления. Колебания крышки коробки усиливаются специальной системой подвижных рычагов и передаются на стрелку 3, которая перемещается вдоль шкалы с делениями. К шкале анероида прикреплен термометр для измерения температуры прибора. Механизм анероида помещается в пластмассовый кожух.

а)



б)

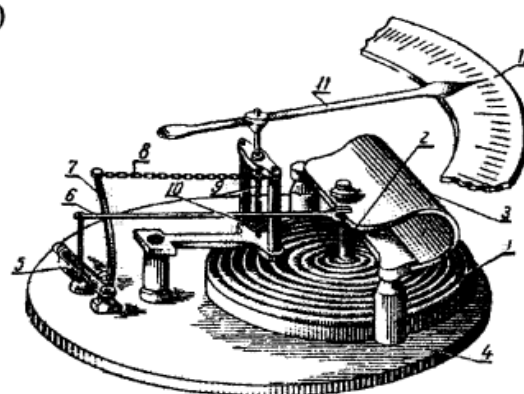


Рисунок 16 – Схема барометра-анероида:

а) внешний вид; б) механизм анероида:

1 – коробка, 2 – ножка, 3, 10 – пружина,  
4 – плато, 5 – коленчатый вал, 6 – стержень,  
7 – рычаг, 8 – цепочка, 9 – ось, 11 – стрелка,  
12 – шкала



Анероид устанавливают в горизонтальное положение. При наблюдениях по анероиду вначале отсчитывают температуру по термометру при анероиде с точностью до  $0,1^{\circ}$ . После этого, слегка постучав по стеклу анероида для преодоления трения в передающей части, отсчитывают положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1 единиц измерения.

В показания анероида вводятся три поправки: на шкалу, на температуру, добавочная.

*Поправка на шкалу* учитывает инструментальные неточности и особенности в передаточном механизме. В поверочном свидетельстве поправка на шкалу приведена через 10 мм показания прибора. Промежуточные значения поправок определяют путем интерполяции.

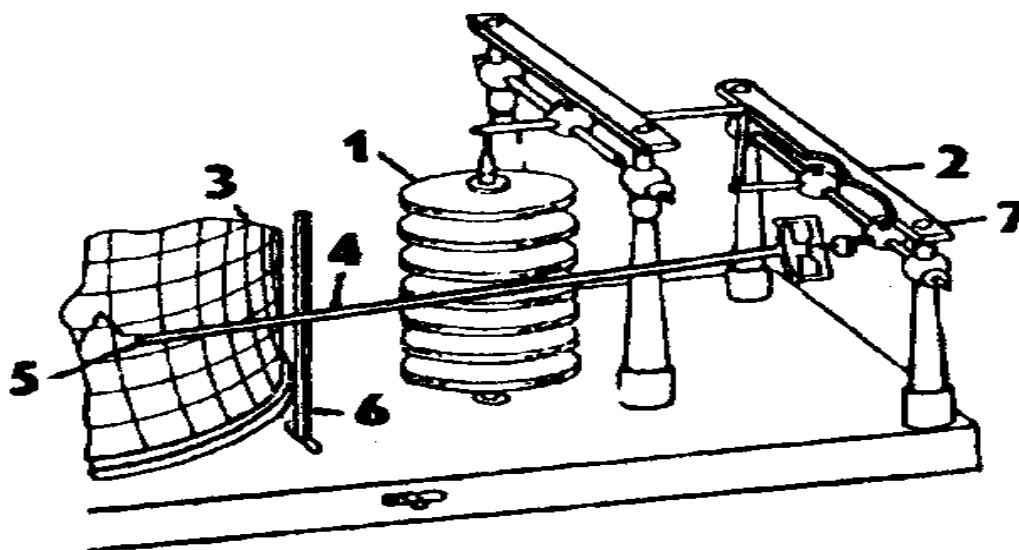
*Поправка на температуру.* При одном и том же атмосферном давлении, но разной температуре показания анероида могут быть разными, так как с изменением температуры упругость пружины и мембранной коробки не остается постоянной. Поэтому показания анероидов приводятся к температуре  $0^{\circ}$ . В поверочном свидетельстве дается величина поправки при изменении температуры на  $1^{\circ} (\Delta p)$ . Для приведения показаний анероидов к  $0^{\circ}$  необходимо указанную поправку умножить на температуру прибора.

*Добавочная поправка* учитывает остаточную деформацию коробки и пружины. Эта поправка меняется во времени. Поэтому в поправочном свидетельстве указывается дата ее определения. Добавочную поправку рекомендуется определять периодически.

Для введения добавочной поправки необходимо произвести серию (пять-шесть) одновременных отсчетов по ртутному чашечному барометру и анероиду. Средняя разница между показаниями барометра с учетом всех поправок и анероида с двумя поправками (на температуру и шкалу) и будет добавочной поправкой к анероиду.

**Барограф** применяется для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления.

Он состоит из трех частей: приемной 1; передающей 2; регистрирующей 3 (рисунок 17). Приемной частью, которая реагирует на изменение атмосферного давления, является несколько анероидных коробок, которые соединены вместе.



*Рисунок 17 – Устройство барографа:*

*1 – коробки, 2 – тяги, 3 – барабан, 4 – стрелка,  
5 – перо, 6 – зажим, 7 – кнопка*

Воздух из коробок откачен, чтобы коробки не сжимались под воздействием атмосферного давления, в середине каждой коробки содержится пружина в виде рессоры. При увеличении атмосферного давления коробки сжимаются, а при уменьшении – растягиваются. Чувствительность анероидных коробок зависит от изменений температуры. Для исключения влияния температуры на показания барографа используется биметаллический термокомпенсатор.

Колебания анероидных коробок, обусловленные изменением атмосферного давления, усиливаются передаточным механизмом и через систему рычагов передаются на стрелку 4 с пером 5, которое заполняется специальными чернилами.

Регистрирующей частью барографа является барабан 3 с часовым механизмом внутри. На барабан надевается бумажная лента с делениями. На ленте барографа горизонтальные линии соответствуют атмосферному давлению в гПа, а вертикальные дуги – времени.

Зажим 6 позволяет отводить стрелку с пером от барабана в сроки замены ленты. Показания барографа контролируются данными ртутного барометра. Для этого в сроки наблюдений на ленте барографа делается засечка при помощи кнопки 7. Барографы в зависимости от скорости хода часового механизма бывают суточные и недельные. Обработка ленты суточного барографа осуществляется так же, как и термографа.

## **Лабораторная работа 9**

### **Измерение атмосферного давления барометром-анероидом**

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство и установку барометра-анероида и правила наблюдений по нему.
2. Записать показания значений давления по барометру-анероиду с учетом поправок.
3. Определить превышение между двумя точками по давлению и температуре воздуха в этих точках.
4. Решение задач.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Барометр-анероид устанавливают горизонтально на столе и открывают футляр.
2. Сделать отсчет температуры прибора (точность до 0,1 °С) и давления по шкале (точность до 0,1 гПа или до 0,1 мм рт. ст.), предварительно слегка постучав пальцем по стеклу прибора. Результаты заносят в таблицу 11.
3. Из поверочного свидетельства определить шкаловую поправку  $\Pi_{ш}$ , температурную  $\Pi_T$  и добавочную  $\Pi_D$  поправки и занести в таблицу 12.
4. Вычислить суммарную поправку  $\Delta p_c$  по формуле

$$\Pi_c = \Pi_{ш} + \Pi_T + \Pi_D.$$

5. Вычислить превышение одного этажа над другим (м) по формуле Бабинне:

$$h = 16000 \times \frac{P_H - P_B}{P_H + P_B} \times \left( 1 + \alpha \times t_{cp} \right),$$

где  $h$  – превышение между двумя точками, м;

$P_H, P_B$  – давление воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, (в миллибарах);

$\alpha$  – коэффициент расширения газов (0,00366);

$t_{cp}$  – средняя температура воздуха на нижней и верхней точках

$$t_{cp} = \frac{t_n + t_v}{2}.$$

Расчет суммарной поправки к показаниям барометра-анеирода.

*Таблица 11 – Нахождение исправленной величины по барометру-анероиду*

Прибор	Этаж	Отсчет	Суммарная поправка	Исправленная величина
Барометр-анероид				
Термометр				
Барометр-анероид				
Термометр				

*Таблица 12 – Расчет поправок барометра-анероида, мм*

Этаж	Шкала	Приведенная к 0 °С	Добавочная	Суммарная

Суммарная поправка анеироида ( $P_c$ ) состоит из поправок на шкалу ( $P_{ш}$ ), на температуру прибора, приведенную к 0 °С ( $P_T$ ) и добавочную ( $P_D$ ).

*Таблица 13 – Величина поправки на шкалу*

Давление, гПа	Поправка	Давление, гПа	Поправка
1050	+0,1	990	–0,5
1040	+0,3	970	–0,6
1030	+0,4	960	–0,7
1020	+0,6	950	–0,8
1010	0,0	940	–0,9

Поправка на температуру анеироида, приведенную к 0 °С ( $P_T$ ), рассчитывают по формуле

$$P_T = -0,04 \times t,$$

где  $t$  – температура анеироида, °С (в показания температуры нужно предварительно внести поправку).

*Таблица 14 – Поправка к показаниям термометра при анеироиде*

Интервал		Поправка
от	до	
–5,0	+21,5	+0,1
+21,6	+35,0	0,0

Поправка добавочная определена в августе 2011 года и  $P_D = 1,5$  гПа

6. Используя измеренные величины давления и температуры (с учетом поправок), следует рассчитать барическую ступень по формуле

$$h = \frac{8000}{P}(1 + \alpha \times t),$$

где  $h$  (м/гПа) – барическая ступень;

$P$  (гПа) – исправленная суммарной поправкой величина давления;

$t$  – температура анероида.

### *Пример решения задач*

При входе самолета в слоисто-дождевое облако на высоте 700 м давление составляло 940 гПа, температура  $-12,6^{\circ}\text{C}$ , а при выходе из вершины облака давление равнялось 790 гПа. Температура  $-1,4^{\circ}\text{C}$ . Определить толщину и высоту вершины облака.

### *Решение*

1. Толщину облака находим по формуле

$$h = 16000 \times \frac{P_H - P_B}{P_H + P_B} \times (1 + \alpha \times t_{cp})$$

$$h = 16000 \times \frac{940 - 790}{940 + 790} \times (1 + 0,00366 \times 7,0) = 1422,8$$

2. Находим высоту вершины облака:

$$H = 1422,8 + 700 = 2122,8 \text{ м}$$

### *Задачи для решения*

1. По данным радиозонда получено: при входе в мощный инверсионный слой температура была  $6,4^{\circ}\text{C}$ , атмосферное давление составило 940 гПа, при выходе из слоя инверсии температура оказалась  $3,6^{\circ}\text{C}$ , давление – 820 гПа. Определить мощность инверсионного слоя.

2. На метеостанции отмечено давление 962 мб и температура  $22,3^{\circ}\text{C}$ . Определить атмосферное давление на высоте 300 м, если температура на этой высоте составила  $19,5^{\circ}\text{C}$ .

3. При проведении барометрического нивелирования в труднодоступном районе атмосферное давление на уровне моря равнялось 980 гПа, температура  $-5,5^{\circ}\text{C}$ ; на вершине горы давление составляло 920 гПа, температура  $-8,5^{\circ}\text{C}$ ; определить высоту горы.

## *Контрольные вопросы*

1. Какие газы и в каком количестве содержатся в воздухе в нижних слоях атмосферы?
2. Что такое атмосферные аэрозоли и как они поступают в атмосферу?
3. На какие слои и по каким признакам разделяется атмосфера по вертикали?
4. Чем отличается состав воздуха в лесу от его состава в окружающей местности?
5. Что такое атмосферное давление?
6. Что называется нормальным атмосферным давлением?
7. Какие существуют единицы измерения атмосферного давления? Их соотношение.
8. Какие приборы применяются для измерения атмосферного давления?

## **1.6 Ветер**

### ***1.6.1 Характеристики ветра***

Воздух лишь в редких случаях находится в состоянии покоя. Обычно он перемещается как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Движение воздуха в горизонтальном направлении называют *ветром*.

Причина возникновения ветра – неравномерное распределение давления воздуха на поверхности Земли, вызываемое неравномерным распределением температуры воздуха.

Ветер характеризуется *направлением, скоростью и порывистостью*.

За направление ветра принимают ту часть горизонта, откуда дует ветер. Направление ветра обычно определяют по восьми румбам горизонта (странам света) или в градусах, начиная от северного румба по часовой стрелке. Для обозначения главных румбов используют начальные буквы названий стран света: север (С), юг (Ю), восток (В), запад (З). В международной классификации используют латинские обозначения (N – норд, S – зюйд, E – ост, W – вест). Для анализа повторяемости различного направления ветра применяют график, называемый *розой ветров* (графическое изображение направления ветра за месяц, сезон или год).

Роза ветров дает наглядное представление о том, какое направление ветра за данный период является господствующим.

Скорость ветра измеряют в метрах в секунду, реже – в километрах в час. Иногда определяют не скорость, а силу ветра по так называемой шкале Бофорта. Силу ветра по этой шкале дают в баллах и определяют визуально.

В каждой точке пространства скорость и направление ветра быстро изменяются. Такое движение воздуха называют порывистостью ветра.

Порывистость ветра связана с небольшими вихрями, которые образуются при обтекании воздухом неровностей земной поверхности или же при неодинаковом нагревании ее отдельных участков, т. е. обусловлена атмосферной турбулентностью.

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

Для измерения направления и скорости ветра используются флюгер, ручной чашечный анемометр и анеморумбометр.

**Флюгер** является наиболее простым по устройству и широко распространенным прибором для измерения направления и скорости ветра. Указателем направления ветра у флюгера служит двухлопастная флюгарка 1 с противовесом 2 и восемь штифтов 3, ввинченных в муфту 4, причем четыре штифта длинные и четыре короткие (рисунок 18). Длинные штифты соответствуют направлению С, Ю, З, В, короткие – СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ. Один штифт, обозначенный буквой С, должен быть направлен строго на север. Под действием ветра флюгарка вращается вокруг вертикальной оси. Направление ветра определяют по положению противовеса флюгарки относительно штифтов. Указатель скорости ветра состоит из железной доски 5 размером 15×30 см, свободно качающейся над флюгаркой около горизонтальной оси 6, закрепленной на металлическом стержне 7, и восьми штифтов, ввинченных в дугу 8, которая также соединена с осью 6 металлическим стержнем 9. Для уравнивания дуги на другом конце оси навинчен груз 10. Нумерация штифтов начинается с отвесного штифта, имеющего нулевой номер. Для удобства отсчета четные штифты (0, 2, 4, 6) делают длиннее нечетных (1, 3, 5, 7). Различают флюгеры с легкой доской (200 г) и с тяжелой (800 г).

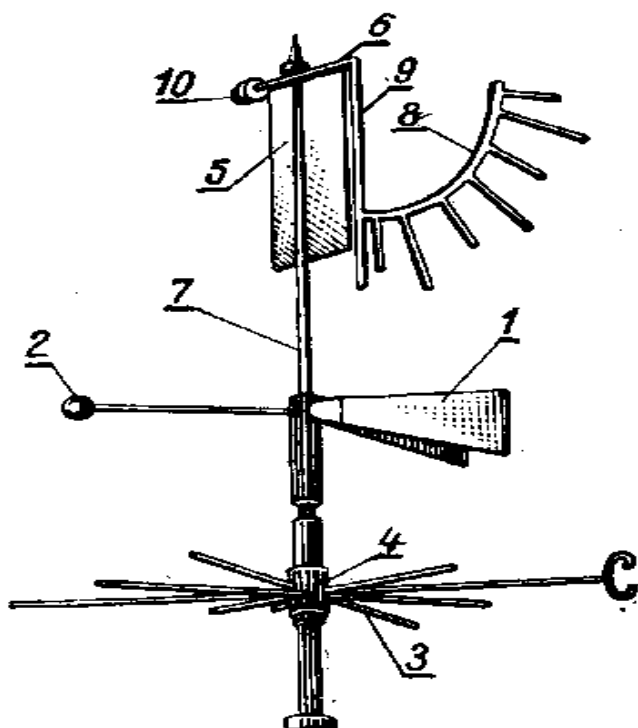


Рисунок 18 – Флюгер:

- 1 – флюгарка, 2 – противовес,  
3 – штифты, 4 – муфта, 5 – доска,  
6 – ось, 7, 9 – стержень, 8 – дуга,  
10 – груз

Под воздействием ветра флюгарка устанавливается в его направлении, а доска – всегда перпендикулярно направлению ветра и отклоняется на угол, который зависит от скорости ветра, и ставится рядом с соответствующим штифтом. При помощи флюгера с легкой доской можно измерять скорость ветра до 20 м/с, а с тяжелой – до 40 м/с. Флюгер устанавливают на металлической мачте высотой 10–12 м от поверхности земли с условием, чтобы окружающие его здания, деревья и другие предметы были на значительном расстоянии и не оказали влияния на его по-

казания. Он ориентируется длинным штифтом с буквой С (N) на север. Ночью он освещается электрическими лампочками.

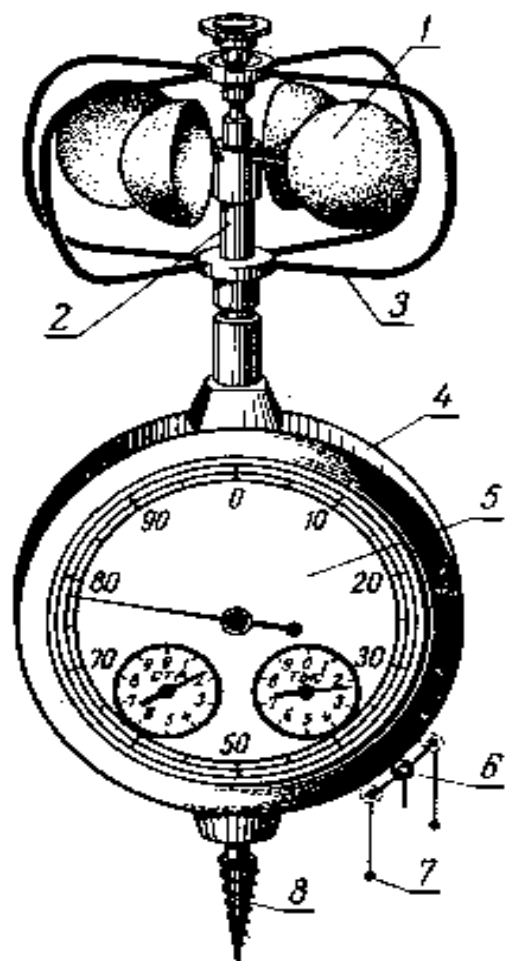
При определении направления ветра наблюдатель должен стоять рядом с мачтой; на протяжении 2 мин наблюдать за положением флюгарки и отмечать среднее ее местоположение в отношении штифтов, что указывают стороны света.

Для определения скорости ветра наблюдатель должен отойти от мачты и стать в направлении, перпендикулярном положению флюгарки. На протяжении 2 мин необходимо следить за колебанием доски и определить ее среднее положение за этот промежуток времени в отношении штифтов.

По флюгеру определяется также характер ветра. Направление ветра считается *постоянным*, если на протяжении наблюдений противовес колеблется в пределах одного румба. В других случаях ветер считается *переменным*. Ветер называют *ровным*, если доска колеблется на протяжении 2 мин около одного штифта, или между двумя соседними. Если амплитуда колебаний более двух штифтов, ветер характеризуется как *порывистый*.



**Ручной чашечный анемометр со счетным механизмом** применяется для измерения средней скорости ветра в пределах от 1 до 20 м/с за определенный промежуток времени.



*Рисунок 19 – Ручной чашечный анемометр:*  
 1 – вертушка, 2 – ось,  
 3 – дужка, 4 – корпус,  
 5 – циферблат, 6 – кольцо арретира, 7 – ушки, 8 – винт

Приемной частью данного прибора является вертушка с четырьмя полусферическими чашками 1 (рисунок 19). Она крепится на металлической оси 2. На нижнем конце оси имеется резьбовая нарезка, соединенная с шестеренчатым механизмом, который находится в пластмассовом корпусе 4. Полушария защищены от механических повреждений проволочными дужками 3. Шестеренчатый механизм представляет собой счетчик количества оборотов вертушки при воздействии на нее ветра. Счетчик связан с тремя стрелками, которые перемещаются вдоль трех циферблатов 5. По показаниям большой стрелки отсчитывают единицы и десятки оборотов от 0 до 100. По показаниям двух маленьких стрелок отсчитывают сотни и тысячи оборотов, соответствующие им циферблаты имеют по 10 делений.

Счетный механизм включается и выключается арретиром, выступающий конец которого расположен сбоку корпуса и имеет вид подвижного кольца 6. Движением арретира 6 вверх (против часовой стрелки) счетчик анемометра включают, а движением вниз (по часовой стрелке) – выключают. Время измерения скорости ветра анемометром должно быть не менее 100 с. Для включения и выключения арретира к нему привязывают шнурок, а концы его пропускают в ушки 7. В нижней части прибора имеется винт 8 для установки анемометра на деревянном столбе.

**Анеморумбометр** – дистанционный прибор. Он служит для измерения скорости ветра, осредненной за 10-минутный интервал, максимальной мгновенной скорости ветра между сроками наблюдений и направления ветра (рисунок 20).

Принцип действия анеморумбометра основан на преобразовании направления и скорости ветра в электрические величины. В комплект прибора входит датчик 1, измерительный пульт 2 и блок питания 3. Датчик состоит из обтекаемого корпуса, вращающегося вокруг вертикальной неподвижной стойки. В конце корпуса находится флюгарка 5, а в начале – четырехлопастный винт 4 с горизонтальной плоскостью вращения, которая с помощью флюгарки устанавливается всегда перпендикулярно направлению воздушного потока.

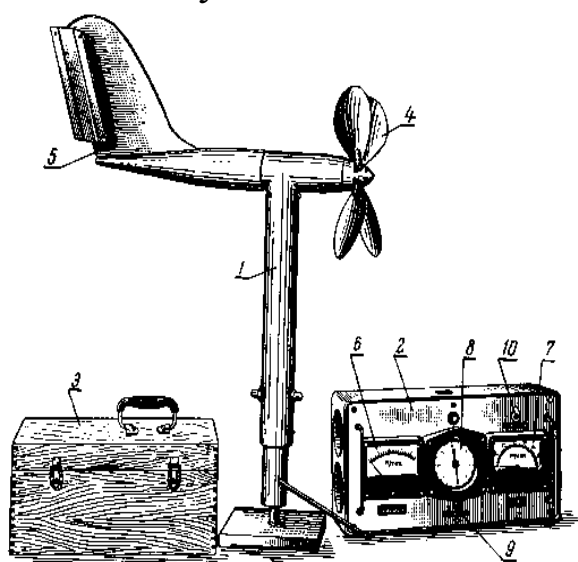


Рисунок 20 – Анеморумбометр:

- 1 – датчик, 2 – измерительный пульт, 3 – блок питания, 4 – винт, 5 – флюгарка, 6 – указатель мгновенной скорости, 7 – указатель средней скорости, 8 – указатель направления ветра, 9-11 – кнопки

Внизу вертикальной стойки находится ориентир для установки датчика относительно сторон света и штепсельный разъем для подключения соединительного кабеля. Измерительный пульт – настольный прибор, на лицевой стороне которого размещены указатель мгновенной скорости 6, указатель средней скорости 7 и указатель направления ветра 8.

Блок питания состоит из двух батарей аккумуляторов, вольтметра для измерения напряжения аккумуляторов и тумблера. Блок питания подключается к сети переменного тока. Датчик анеморумбометра устанавливают на высокой

мачте, а измерительный пульт и блок питания – в служебном помещении на столе.

Датчик и измерительный пульт соединены между собой многожильным кабелем длиной 150 м, а измерительный пульт и блок питания – проводом длиной 2 м. Для измерения направления ветра

на 2 мин нажимают кнопку 9 и на глаз определяют среднее положение стрелки за это время. Максимальную скорость ветра, зафиксированную прибором между сроками наблюдений, отсчитывают по шкале 6 указателя. После этого, нажав кнопку 10, сбрасывают ее и отсчитывают еще максимальную скорость за 2-минутный интервал. Осредненную за 10-минутный интервал скорость ветра измеряют по шкале 7. Отсчеты скорости ветра производят с точностью до 1 м/с. Осреднение скорости ветра и регистрация максимальных значений осуществляются автоматически. Пределы измерения скорости ветра – от 1,5 до 60 м/с.

**Роза ветров.** В практике строительства сельскохозяйственных зданий и сооружений для правильного размещения полезных лесных полос, кулис, проведения мероприятий по снегозадержанию необходимы сведения о направлении ветра в данной местности.

С этой целью определяют повторяемость направления ветра по румбам на основании ежедневных наблюдений за многолетний период. Выражается она в процентах и обычно дается для января и июля по восьми румбам.

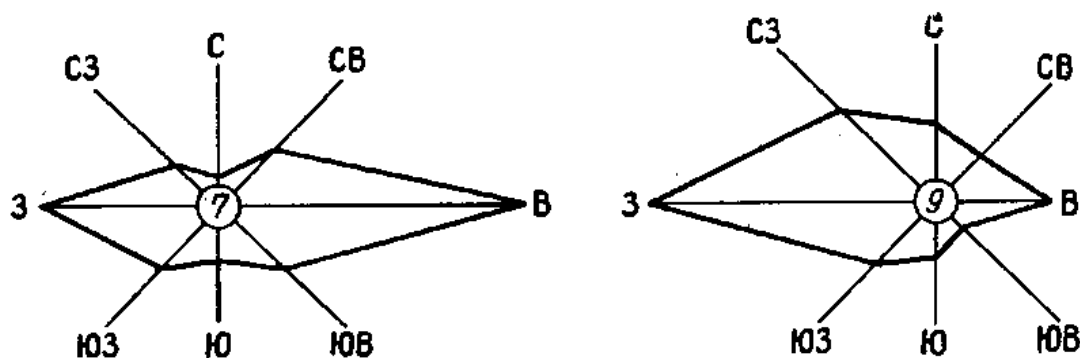


Рисунок 21 – Роза ветров

Для наглядного представления режима ветра в данном месте за месяц, сезон, год по данным повторяемости строится роза ветров (рисунок 21).

### **Лабораторная работа 10**

#### **Измерение скорости ветра и построение розы ветров**

##### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство и установку ручного чашечного анемометра и правила наблюдений по нему.

2. Измерить среднюю скорость ветра ручным чашечным анемометром.

3. Построить розы ветров по данным приложения 4 и дать их анализ.

### *Порядок выполнения работы*

Измеряют скорость ветра ручным чашечным анемометром. Для этого выбирают открытый участок, расположенный на значительном расстоянии от зданий, деревьев, кустарников и других видов препятствий. Последовательность измерений изложена ниже.

1. Перед наблюдением при выключенном счетчике записывают начальные показания, т. е. положения всех трех стрелок на циферблатах (тысячи, сотни, десятки, единицы).

2. Для измерения скорости ветра ручной анемометр устанавливают на деревянном столбе необходимой высоты или держат на вытянутой руке. Наблюдатель должен стоять лицом к ветру, а циферблат прибора – повернут к наблюдателю.

3. Включают арретиром счетчик анемометра через одну-две минуты, когда скорость вращения вертушки установится.

4. Через 100 секунд выключают счетчик и записывают новые показания прибора (секундомер включают и выключают одновременно с арретиром анемометра). Повторить наблюдения еще два раза.

5. По разности отсчетов по анемометру после и до наблюдений (по каждому наблюдению), деленной на время работы прибора, определяют число делений в 1 с.

6. Пользуясь графиком поверки ручного анемометра, которое прилагается к прибору, рассчитать по каждому наблюдению скорость ветра, а затем из трех наблюдений определяют среднюю скорость ветра (м/с).

По данным повторяемости и направления ветра строится роза ветров для января и июля.

1. Для построения розы ветров вначале необходимо начертить восемь румбов направлений, затем в масштабе (1 мм – 1 %) отложить на румбах значение повторяемости каждого направления и точки соединить прямыми линиями.

2. В центре розы ветров показывают число штилей.

Пользуясь розами ветров, можно сделать вывод, что промышленные предприятия и фермы лучше располагать, например,

с южной или северо-восточной стороны от населенных пунктов, а лесные полосы должны иметь направление с севера на юг и т. д.

Задание оформляется на чертежной бумаге формата А4. На формате приводится роза ветров, масштаб, условные обозначения, таблица исходных данных.

### *Контрольные вопросы*

1. Как определяют направление и скорость ветра?
2. Устройство флюгера.
3. В чем заключается последовательность наблюдений по флюгеру?
4. Какие скорости измеряются по флюгеру, оборудованному легкой и тяжелой доской?
5. Устройство и принцип работы ручного чашечного анемометра.
6. Что собой представляют анеморумбометры?
7. Что такое «роза ветров», и для каких целей она строится?

## **1.7 Измерение осадков**

Атмосферные осадки разных видов являются окончательным результатом конденсации водяного пара. Осадки разделяют на две группы:

- образующиеся на поверхности Земли (роса, иней, изморозь, гололед);
- выпадающие из облаков (дождь, снег, крупа, град).

Количество выпавших осадков измеряют слоем воды (в мм), который образовался бы на горизонтальной поверхности при условии, если бы она не стекала, не просачивалась в почву и не испарялась.

Слой воды в 1 мм на 1 га поверхности соответствует объему воды равному

$$0,001 \text{ м} \times 10000 \text{ м}^2 = 10 \text{ м}^3 \text{ или } \approx 10 \text{ т воды.}$$

Следовательно, чтобы перейти от количества выпавших осадков в мм и м<sup>3</sup>/га, необходимо произвести умножения на 10 (мм × 10 = м<sup>3</sup>/га).

Для измерения количества выпавших осадков применяют осадкомеры и дождемеры, для определения динамики выпадения и интенсивности осадков – плювиографы.

**Осадкомер Третьякова** применяется для измерения количества осадков, выпадающих в жидком и твердом виде. В комплект осадкомера входят два цилиндрических сосуда (ведра), крышка, ветровая защита и измерительный стакан.

Ведро 1 осадкомера (рисунок 22) имеет диаметр 169,5 мм, высоту 400 мм и приемную площадь 200 см<sup>2</sup>. Внутри ведра впаяна диафрагма в виде усеченного конуса. Для уменьшения испарения из ведра в летнее время отверстие диафрагмы закрывается воронкой с маленьким отверстием для стока. С внешней стороны

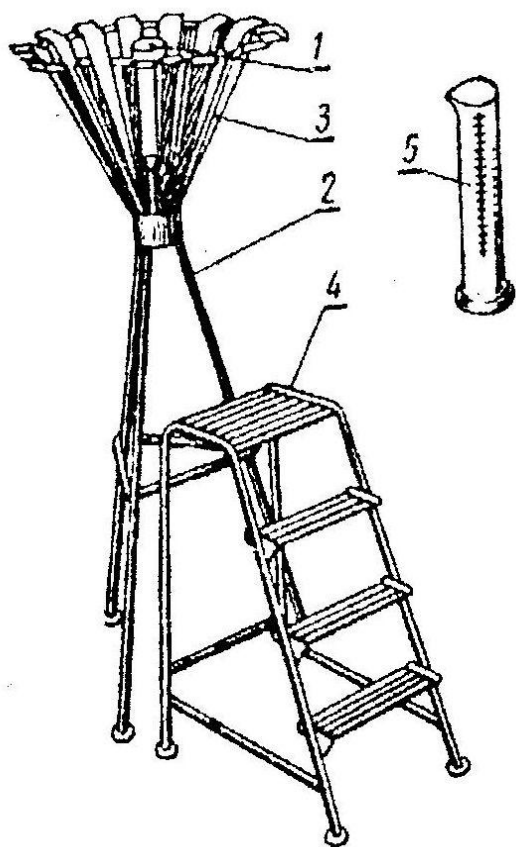


Рисунок 22 – Осадкомер  
Третьякова:

1 – ведро, 2 – подставка,  
3 – ветровая защита, 4 – лестенка,  
5 – измерительный стакан

ведра для слива собранных осадков припаян носик, который закрывается колпачком с цепочкой. Крышка служит для того, чтобы закрывать ведро при переносе его с площадки и на время таяния снега в нем. Собранные осадки выливают в измерительный стакан 5, который представляет собой мензурку с делениями. Одно деление стакана по объему равно 2 см. При площади приемной части ведра 200 см такая величина соответствует 0,1 мм слоя воды в ведре. Ведро осадкомера устанавливают в кольцевую оправу (таган), которая закреплена неподвижно на металлической подставке.

Ветровая защита 3 состоит из 16 планок, имеющих форму равнобедренной трапеции и изогнутых по шаблону. Верхние концы планок отогнуты во внешнюю сторону и находятся на одной высоте с верхним краем ведра. Крепятся они кольцевым прутком и укосинами на одинаковом расстоянии друг от друга.

Ветровая защита 3 состоит из 16 планок, имеющих форму равнобедренной трапеции и изогнутых по шаблону. Верхние концы планок

*Установка.* Осадкомер устанавливают на металлической подставке с таким расчетом, чтобы приемная поверхность осадкомера находилась на высоте 2 м. Окружающие предметы должны быть удалены от него на расстояние не менее трехкратной высоты их. Рядом с осадкомером устанавливают лесенку 4.

*Наблюдения.* Во время наблюдений производят смену ведер. Ведро, закрытое крышкой, выносят из помещения и устанавливают в кольцевую оправу, а снятое ведро закрывают крышкой и переносят в помещение.

Содержащиеся в ведре осадки переливают через носик в измерительный стакан. Если осадки в виде снега, то измерять их надо после того, как снег растает.

К каждому измеренному количеству осадков вводится поправка на смачивание осадкомерного ведра. Если в измерительном стакане вода окажется на середине первого деления или выше, то прибавляют поправку, равную двум делениям стакана (0,2 мм слоя), если меньше половины деления, то прибавляют одно деление стакана (0,1 мм слоя).

**Стакан** во время измерений должен стоять вертикально. Если осадков оказывается больше 10,0 мм, то их сливают в стакан в несколько приемов и каждый раз записывают число делений. Например, при первом наполнении стакана отсчитали 90 делений, при втором 40. Записываем  $90 + 40$ , получаем 130 делений. Для перевода их в миллиметры число делений стакана следует разделить на 10 и прибавить поправку на смачивание. В нашем примере выпало 13,2 мм осадков.

**Почвенный дождемер** предназначен для измерения жидких осадков почти на уровне почвы. Он состоит (рисунок 23) из дождемерного ведра 1 и гнезда 2 для его установки. Дождемерное ведро отличается от ведра осадкомера тем, что имеет приемную поверхность  $500\text{ см}^2$  и конусообразную диафрагму 3 с отверстиями у вершины. С внешней стороны ведра, ниже диафрагмы, имеется носик 4 для сливания выпавших осадков.

Гнездо 2 для установки ведра 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 гнездо, и три пружинящие опоры 5 для установки ведра 1.

*Установка.* Почвенный дождемер устанавливают на открытой площадке. Гнездо дождемера помещают в приготовленное углубление в почве так, чтобы оно плотно прилегало к его стенкам, а верхний край гнезда выступал над почвой на 5 см. Для стока воды из гнезда в середине ямы делают небольшое углубление диаметром 10–15 см. После этого дождемерное ведро горизонтально устанавливают на опоры в гнезде.

Измерение осадков производят так же, как и по осадкомеру. Каждое деление измерительного стакана дождемера равно 5 см, или 0,1 мм слоя воды в дождемере.

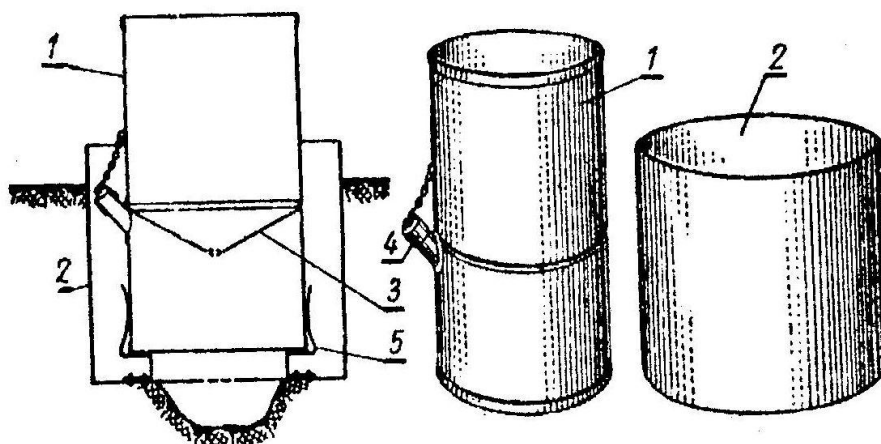


Рисунок 23 – Почвенный дождемер:

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

**Плювиограф** (рисунок 24) состоит из цилиндрического сосуда 1 с приемной площадью 500 см<sup>2</sup>. В нижней части сосуд переходит в конус, заканчивающийся сливной трубкой, которая вставляется в воронку трубки 2, идущей от поплавковой камеры 3. Приемный сосуд соединен с железным цилиндрическим корпусом. Передняя часть его имеет вырез и закрывается дверцей, укрепленной на петлях и снабженной замком. Поплавковая камера укреплена внутри корпуса. Осадки через приемное ведро поступают в поплавковую камеру, внутри которой находится полый металлический поплавок 4 со стержнем 5 и стрелкой 6, заканчивающейся пером. Сбоку поплавковой камеры впаяна трубка 7, в которую вставляется стеклянный сифон 8. Рядом с поплавковой камерой укреплен барабан 9 с часовым механизмом. На барабан надевается бумажная лента. Горизонтальные линии на ней соот-



ветствуют количеству осадков, а вертикальные – времени. Одно горизонтальное деление равно 0,1 мм осадков, а одно вертикальное – 10 мин. На крышке поплавковой камеры укреплен арретир, служащий для отвода стрелки от барабана. В нижней части корпуса прибора помещается контрольный сосуд 10, в который сливаются осадки из поплавковой камеры.

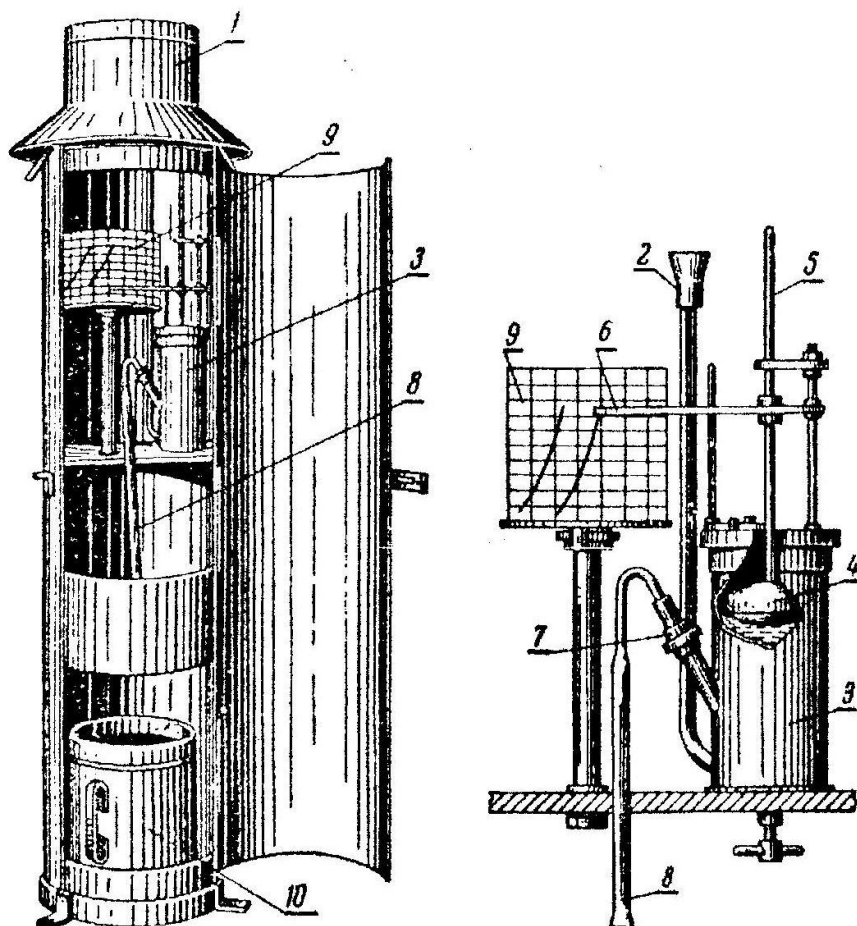


Рисунок 24 – Плувиограф:

1 – приемный сосуд, 2 – трубка, 3 – поплавковая камера, 4 – поплавок, 5 – стержень, 6 – стрелка, 7 – трубка, 8 – сифон, 9 – барабан, 10 – контрольный сосуд

При выпадении осадков вода из приемного сосуда 1 переливается в поплавковую камеру 3. При этом поплавок, находящийся в камере, поднимается, и перо начинает писать на ленте, причем, чем интенсивнее осадки, тем круче подъем кривой. Как только осадки заполняют поплавковую камеру, начинает действовать сифон 8, и вода из камеры автоматически выливается в контрольный сосуд. В этот момент перо опускается вниз и чертит на ленте

вертикальную линию от верхнего края до нулевого положения. Если осадки продолжают выпадать, поплавковая камера снова наполняется водой и перо поднимается вверх. Если осадки прекращаются, перо чертит на ленте горизонтальную линию.

*Установка.* Прибор устанавливают горизонтально на открытой площадке на специальном столбе так, чтобы его верхняя часть была на высоте 2 м от поверхности почвы. Плювиограф ук-

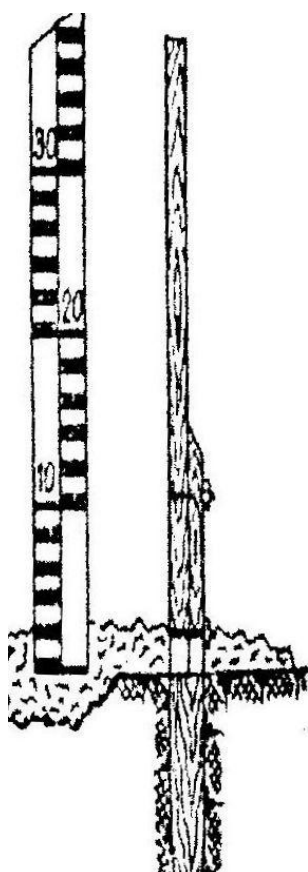


Рисунок 25 – Постоянная снегомерная рейка

репляется проволочными оттяжками. Ленты плювиографа меняют ежедневно. При смене лент заводят часовой механизм. На обороте ленты отмечают время установки и снятия ленты, а также определенное по измерительному стакану количество осадков, слитых сифоном в контрольный сосуд 10. В холодное время плювиограф не используют, так как вода в сосуде может замерзнуть и повредить прибор.

**Снегомерные рейки.** Так как снежный покров залегает неравномерно по территории, то его измеряют в нескольких местах.

Для этого применяют постоянные и переносные (маршрутные) снегомерные рейки. Постоянная снегомерная рейка представляет собой деревянный брус длиной около 2 м и шириной не менее 5 см, размеченный на сантиметры (рисунок 25).

*Установку* постоянной снегомерной рейки производят осенью до начала снегопадов. В выбранном месте забивают в землю деревянный заостренный брусок длиной 40–60 см с запиленной ступенькой и к этому бруску привинчивают снегомерную рейку. Обычно на метеоплощадке устанавливают три постоянные снегомерные рейки, располагая их по треугольнику. Расстояние между рейками должно быть не менее 10 м.

*Наблюдения* за высотой снежного покрова по постоянным рейкам следует вести с одного и того же места на расстоянии пяти-шести шагов от рейки. Так как непосредственно около рейки может образоваться воронка от ветра, то при отсчетах взгляд должен быть направлен возможно ближе к поверхности снежного покрова. Отсчет по рейке берут в целых сантиметрах.

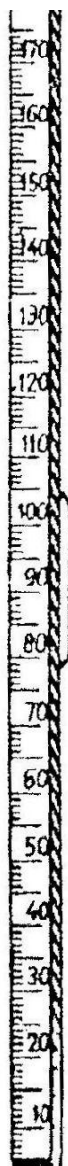


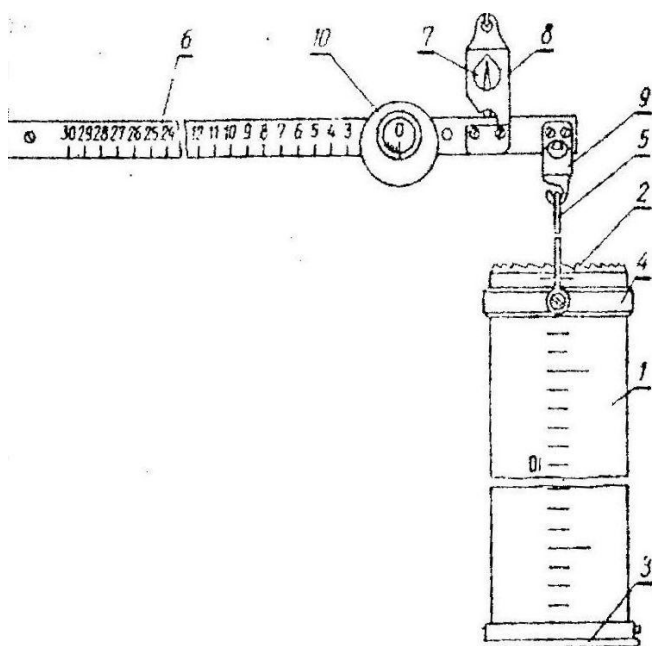
Рисунок 26 –  
Маршрутная  
снегомерная  
рейка

**Маршрутная снегомерная рейка** – деревянный брусок длиной 130–180 см, шириной 4 см и толщиной 2 см (рисунок 26), изготовленный из сухого, пропитанного маслом дерева. Нижний конец рейки заострен и обит жестью. Начало деления совпадает с нижним обрезом наконечника.

При измерении снежного покрова переносную рейку опускают вертикально заостренным концом в снег до поверхности почвы. После этого отсчитывают показания в целых сантиметрах.

**Весовой снегомер** служит для определения плотности снежного покрова и запасов воды в снеге в полевых условиях. Весовой снегомер (рисунок 27) состоит из металлического цилиндра 1 и весов. Высота цилиндра 60 см, площадь поперечного сечения  $50 \text{ см}^2$ . На одном конце его находится толстое кольцо 2 с заточенным краем, другой конец может закрываться крышкой 3. Для определения высоты снежного покрова на цилиндре нанесены деления в сантиметрах. Нулевым делением шкалы является нижний обрез заточенного кольца. Вдоль цилиндра свободно перемещается кольцо 4 к которому прикреплена дужка 5 для подвешивания цилиндра к весам. Весы снегомера состоят из латунной линейки

6, разделенной призмой на два неравных плеча. Призма обращена острием вниз и расположена под указателем – стрелкой 7. На эту призму надевается серьга 8, за кольцо которой наблюдатель держит весы. На конце меньшего плеча с помощью второй призмы крепится крючок 9 для подвешивания цилиндра. На большем плече нанесены деления и находится передвижной груз 10 для уравнивания весов. Деления шкалы нанесены от 0 до 300, причем обозначены десятки делений от 1 до 30. Одно деление соответствует 5 г. для отсчета делений в передвижном грузе сделан вырез, на скошенном крае которого есть риска. Положение равновесия определяется по совпадению указателя-стрелки 7 с риской на серьге 8.



*Рисунок 27 – Весовой снегомер:*

1 – цилиндр, 2, 4 – кольца,  
3 – крышка, 5 – дужка,  
6 – линейка, 7 – стрелка,  
8 – серьга, 9 – крючок, 10 – груз

## ***Лабораторная работа 11*** ***Измерение осадков***

### ***Задачи лабораторной работы***

1. Изучить устройство и установку осадкомера Третьякова, плювиографа, дождемера почвенного.
2. Определить количество выпавших осадков по осадкомеру Третьякова и дождемеру Давитая.
3. Построить и проанализировать график среднегодового количества выпавших осадков.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Во время наблюдений производят смену ведер. Ведро, закрытое крышкой, выносят из помещения и устанавливают в кольцевую оправу, а снятое ведро закрывают крышкой и переносят в помещение (аудиторию).
2. Осадки из ведра переливают через носик в измерительный стакан. Если осадки в виде снега, то измерять их надо после того, как снег растает.
3. Для установления цены деления шкалы измерительного стакана следует произвести пересчет в миллиметры одного деле-

ния измерительного стакана осадкомера, равного  $2 \text{ см}^3$ , по следующей формуле

$$h = \frac{V}{S},$$

где  $h$  – высота слоя осадков, равная одному делению измерительного стакана (цена деления), мм;

$V$  – объем воды, равный одному делению измерительного стакана  $2 \text{ см}^3$ ;

$S$  – площадь приемной поверхности ведра осадкомера  $200 \text{ см}^2$ .

Точность отсчета – до одного деления измерительного стакана с округлением.

4. К каждому измеренному количеству осадков вводится поправка на смачивание осадкомерного ведра. Разность между количеством осадков (мм), вылитых из измерительного стакана в ведро, и осадков, перелитых обратно из ведра в измерительный стакан (мм), дает поправку на смачивание ведра.

5. Для пересчета количества выпавших осадков ( $P$ , мм) в т/га использовать формулу

$$W = P \times 10 \text{ т/га},$$

где  $W$  – масса воды, т/га;

$P$  – количество выпавших осадков, мм.

6. Результаты наблюдений занести в таблицу 14.

*Таблица 14 – Определение количества выпавших осадков,  $z$  (мм) по осадкомеру Третьякова и почвенному дождемеру*

Число делений, отсчитанных по стакану осадкомера		
Количество выпавших осадков (мм)		
Поправка на смачивание		

### *Контрольные вопросы*

1. Что входит в комплекс осадкомера Третьякова?
2. Как пересчитать количество выпавших осадков ( $P$ , мм) в л/га и л/м<sup>2</sup>?
3. Значение осадков для сельскохозяйственного производства.

## *Лабораторная работа 12*

### *Измерение плотности снега и запасов воды*

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить устройство и работу постоянной и маршрутной снегомерных реек, весового снегомера.
2. Произвести измерения весовым снегомером и рассчитать запасы воды в снеге.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Вынести снегомер из помещения и охладить его до температуры воздуха (для этого нужно 20–30 мин).
2. Переносной снегомерной рейкой сделать контрольный промер снежного покрова с точностью до 1 см.
3. Погрузить цилиндр в снег вертикально до соприкосновения с землей (ни цилиндром, ни по цилиндру и его крышке ничем стучать нельзя).
4. Отсчитать высоту снежного покрова (то же, что высота снежного покрова в цилиндре) по шкале с точностью до 1 см.
5. Специальной лопаткой отгрести снег с одной стороны цилиндра и аккуратно подвести лопатку под цилиндр.
6. Не отнимая лопатки от цилиндра, поднять его и перевернуть крышкой вниз (проследить, чтобы снег, заключенный в цилиндр, не высыпался).
7. Очистив цилиндр от приставшего снаружи снега, подвесить его на весы.
8. Передвигая груз, уравновесить весы.
9. На шкале весов против метки груза отсчитать деление с точностью до одного маленького деления.
10. Высыпать снег из цилиндра и повторить измерения (если цилиндр был достаточно охлажден, то снег высыпается из него при опрокидывании и легком постукивании ладонью).
11. Записать в рабочий бланк дату.

**Примечание.** Все показания записать в соответствующую графу таблицы рабочей тетради.

12. Рассчитать плотность снежного покрова по формуле

$$p = \frac{5n}{50h} = \frac{n}{10h} \text{ г/см}^3,$$

где  $p$  – плотность снега, г/см<sup>3</sup>;

$n$  – число делений весов при взвешивании цилиндра с пробой снега;

$h$  – высота снежного покрова, см;

5 г – цена деления весов-безмена;

50 см<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения цилиндра снегомера.

13. Рассчитать запасы воды в снеге по формуле

$$W = n,$$

где  $W$  – запасы воды в снеге, мм;

$n$  – число делений весов-безмена при взвешивании цилиндра с пробой снега.

14. Для пересчета запасов воды в снежном покрове из мм в т/га или м<sup>3</sup>/га следует использовать формулу

$$\nu = 10 \times W,$$

где  $\nu$  – масса воды, т/га;

$W$  – запасы воды в снеге, мм.

*Таблица 15 – Определение высоты снежного покрова, плотности и запасы воды в снеге*

№ измерения	Высота снежного покрова, см		Отсчет по линейке весов, $n$			Плотность снега	Запас воды в снеге	
	по рейке	по шкале цилиндра	$n_0$	$n_1$	$n_2$		Мм	М <sup>3</sup> /т, м <sup>3</sup> /га
1								
2								
3								

### *Контрольные вопросы*

1. Цель определения плотности снега.
2. Устройство весового снегомера.
3. Связь между запасами воды и плотностью снега.

### *Лабораторная работа 13 Проведение снегосъемки*

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Произвести снегосъемку на территории коллекционного участка ПГСХА.
2. Установить основные характеристики снежного покрова.

### *Порядок выполнения работы*

Для получения более точных данных о распределении снежного покрова по территории производят снегосъемку. Для этого на участке проводят промерную линию, по возможности пересекающую все особенности рельефа, длиной 1000 м. Через каждые 10 м переносной снегомерной рейкой определяют высоту снежного покрова, а через 100 м определяют плотность снега весовым снегомером (слева и справа от места стояния). Результаты измерений занести в таблицу 16.

Снегосъемки обычно проводят в последний день декады. По данным снегосъемки необходимо установить среднюю, наибольшую и наименьшую высоты и плотность снежного покрова, запасы воды в нем, а также распределение высоты снежного покрова на полях озимых.

*Таблица 16 – Результаты снегомерной съемки в \_\_ (указать поле, сад, участок леса и т. д.), (число, месяц, год)*

Показатель	№ наблюдения													Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Высота снежного покрова, см														
Число делений на весах снегомера														
Плотность снега, г/см <sup>3</sup>														
Слой воды, мм														
Объем воды на 1 га, м <sup>3</sup>														

### *Контрольные вопросы*

1. Описать проведение снегомерной съемки.
2. Перечислить снежные мелиорации.
3. Охарактеризовать значение снежного покрова для сельского хозяйства.



## 2 АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ

### 2.1 Оценка условий увлажнения вегетационного периода

Одним из важнейших факторов, который влияет на рост и развитие растений является влагообеспеченность вегетационного периода.

Общее представление о ресурсах увлажнения территории может дать количество осадков, выпадающих как в целом за вегетационный период, так и за отдельные его отрезки.

Распределение осадков по территории зависит от характера подстилающей поверхности (наличие лесных массивов, водоемов, речных долин), от высоты места и формы рельефа.

Оценку условий увлажнения по сумме летних осадков можно проводить с помощью нижеследующих показателей. Если за каждый летний месяц выпадает осадков 30 мм и меньше, то лето недостаточно увлажненное; при 40–50 мм – умеренно увлажненное; а при осадках 60–70 мм – достаточно увлажненное.

В 1928 г. Г.Т. Селяниновым был предложен гидротермический коэффициент (ГТК), который кроме осадков учитывает условия термического режима

$$ГТК = \frac{\sum r}{\sum t > 10^{\circ}} \times 10,$$

где  $\sum r$  – сумма осадков за определенный период,

$\sum t > 10^{\circ}$  – сумма температур выше  $10^{\circ} \text{C}$ , подсчитанная за этот же период

Используя ГТК Селянинова, представляется возможным установить начало, конец и продолжительность избыточно влажных, засушливых и сухих периодов.

#### *Лабораторная работа 14*

#### *Определение дат начала и окончания избыточно влажных, засушливых и сухих периодов и их продолжительности*

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Рассчитать значения ГТК и даты начала и окончания избыточно влажных, засушливых, сухих периодов и их продолжительность.

## 2. Проанализировать условия влагообеспеченности по ГТК.

### *Порядок выполнения работы*

1. Из приложения 6 выписать данные о температуре и сумме осадков за каждый месяц вегетационного периода подекадно по форме таблицы 17.

*Таблица 17 – Значение ГТК за вегетационный период*

Месяц	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Средняя декадная температура, °С															
Сумма осадков за декаду, мм															
ГТК															

2. Рассчитать ГТК за каждый месяц и в целом за период, используя формулу

$$ГТК = \frac{\sum_{t > 10^{\circ}} r}{\sum_{t > 10^{\circ}}} \times 10.$$

3. Рассчитать даты начала и окончания избыточно влажного периода при ГТК более 2,0, засушливого периодов при ГТК менее 1,0 и сухого периода при ГТК менее 0,5, используя формулу

$$D = \frac{k - a}{b - a} \times d + 15,$$

где  $k$  – пороговое значение ГТК (2,0; 1,0; 0,5);

$a$  – среднемесячное значение ГТК ниже порогового;

$b$  – среднемесячное значение ГТК выше порогового;

$d$  – число дней в месяце со значением с ГТК ниже порогового;

$D$  – число дней, которое следует вычесть от конца последнего месяца, рассматриваемого периода, если определяем дату начала периода; если определяем дату конца периода, то  $D$  – это число дней, соответствующее дате конца исследуемого периода.

4. Подсчитать продолжительность избыточно влажных, сухих и засушливых периодов в днях. Продолжительность периода рассчитывается путем подсчета числа дней между начальной и конечной датами включительно.

5. Построить график хода ГТК за вегетационный период и определить по графику даты начала и окончания избыточно влажных, сухих и засушливых периодов.

Оценка увлажнения местности в целом за вегетационный период по величине ГТК производится по данным таблицы 18.

*Таблица 18 – Обеспеченность влагой*

Зона увлажнения	ГТК
Влажная	1,6–1,3
Слабозасушливая	1,3–1,0
Засушливая	1,0–0,7
Очень засушливая	0,7–0,4

### *Контрольные вопросы*

1. Как рассчитать ГТК?
2. Какие значения ГТК соответствуют сухим, засушливым и избыточно влажным условиям?
3. Перечислить другие показатели увлажнения, отметить их недостатки и преимущества.

## **2.2 Синоптические карты**

Для характеристики и изучения многих атмосферных явлений, а также для прогноза погоды необходимо одновременно проводить различные наблюдения во множестве пунктов и фиксировать полученные данные на картах. В метеорологии обычно применяется синоптический метод.

*Синоптическая карта* (карта погоды) – это географическая карта, на которую цифрами и определенными символами нанесены данные одновременных наблюдений за погодой у поверхности Земли и на определенных уровнях атмосферы. Синоптическая карта может охватывать территорию от небольшого района до полушария или всего Земного шара.

Карты погоды различают в зависимости от уровня в атмосфере, для которого составляется карта, а также от сроков их составления.

В зависимости от уровня в атмосфере, для которого составляется карта, различают приземные и высотные карты погоды.

Приземные карты погоды составляются по результатам метеорологических наблюдений, передаваемых наземными и морскими станциями.

Высотные карты погоды, дающие представление о состоянии атмосферы на различных уровнях, составляются на основе данных аэрологических станций.

На приземные карты погоды наносится большой комплекс метеорологических величин и явлений погоды, поэтому они являются наиболее информативными.

Каждый час проводятся наблюдения за погодой. Характеризуется облачность (плотность, высота и вид); снимаются показания барометров, к которым вводятся поправки для приведения полученных величин к уровню моря; фиксируются направление и скорость ветра; измеряются количество жидких или твердых осадков и температура воздуха и почвы (в срок наблюдения, максимальная и минимальная); определяется влажность воздуха; тщательно фиксируются условия видимости и все прочие атмосферные явления (например, гроза, туман, дымка и т. п.).

Каждый наблюдатель затем кодирует и передает информацию по Международному метеорологическому коду. Поскольку эта процедура стандартизирована Всемирной метеорологической организацией, такие данные могут быть легко расшифрованы в любом районе мира. Кодирование занимает около 20 минут, после чего сообщения передаются в центры сбора информации, и происходит международный обмен данными. Затем результаты наблюдений (в виде цифр и условных знаков) наносятся на контурную карту, на которой точками указаны метеорологические станции. Таким образом, синоптик получает представление о погодных условиях в пределах крупного географического региона. Общая картина становится еще более наглядной после соединения точек, в которых зафиксировано одинаковое давление, плавными сплошными линиями – изобарами и нанесения границ между разными воздушными массами (атмосферных фронтов). Выделяются также районы с высоким или низким давлением. Карта станет еще более выразительной, если закрасить или заштриховать территории, над которыми в момент наблюдений выпадали осадки.

Синоптические карты приземного слоя атмосферы являются одним из основных инструментов прогноза погоды. Специалист,

разрабатывающий прогноз, сравнивает серии синоптических карт на разные моменты наблюдений и изучает динамику барических систем, отмечая изменения температуры и влажности внутри воздушных масс по мере их перемещения над различными типами подстилающей поверхности.

### **Лабораторная работа 15**

#### **Анализ синоптической карты. Составление прогноза погоды**

##### *Задачи лабораторной работы*

1. Изучить таблицу метеокода и расположение условных знаков метеорологических элементов около метеорологических станций на синоптической карте (приложение 5).

2. По синоптической рабочей карте (рисунок 29) дать описание погоды в четырех-пяти пунктах, по указанию преподавателя.

##### *Порядок выполнения работы*

На синоптические приземные карты погоды вокруг кружка (пункта) станции часть данных наносится цифрами, а часть – условными знаками (рисунок 28).

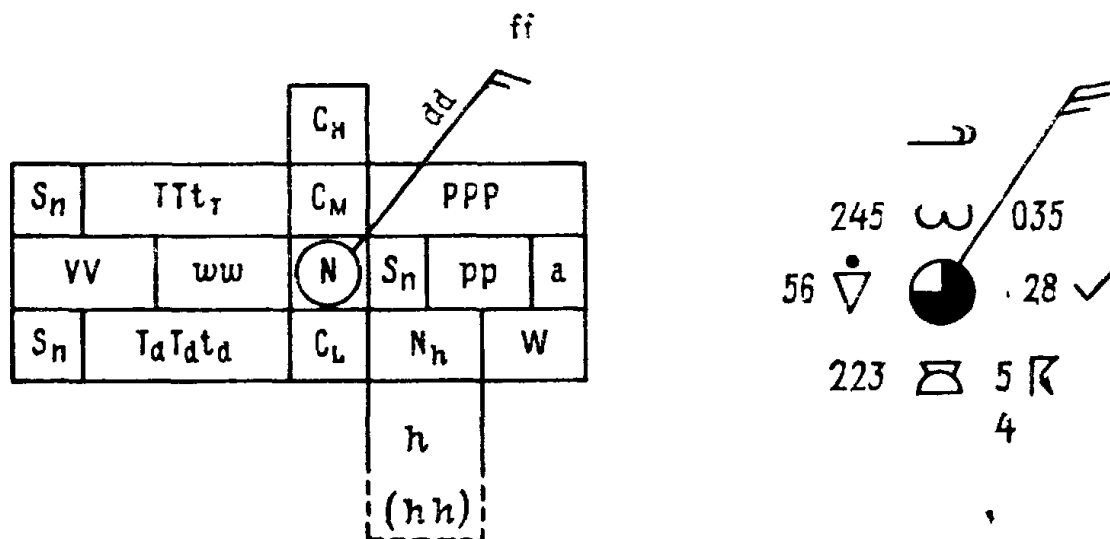


Рисунок 28 – Схема и пример нанесения данных на приземную карту погоды

На схеме наносятся:

○ – положение метеорологической станции;

$N$  – общее количество облаков в баллах (на карте показано символами кода);

ТТТ – температура воздуха с точностью до десятых долей градуса;

$S_n$  – знак температуры воздуха и точки росы (при отрицательных температурах перед цифрой, обозначающей температуру, ставится знак минус, при положительных знак плюс не ставится);

ww – погода во время наблюдений или за час до наблюдения (на карте показана символом кода);

VV – горизонтальная видимость в километрах ( на карте – в цифрах кода);

$T_d T_d T_d$  – точка росы с точностью до десятых долей градуса;

$C_H, C_M, C_L$  – характеристика облаков (на карту наносятся символами кода);

$N_h$  – количество облаков  $C_M$  или  $C_L$ , если нет облаков –  $C_L$ , в баллах (на карту наносятся цифрами кода);

$h$  – высота облаков  $C_M$  или  $C_L$ , если нет облаков –  $C_L$ , в метрах (на карте – в цифрах кода);

PPP – давление воздуха, если трехзначное число начинается с 5 или большей цифры, то при расшифровке следует впереди поставить цифру 9, а если число начинается с 4 или меньшей цифры, впереди следует поставить цифру 10;

pp – величина барической тенденции за последние три часа, в гПа (целые и десятые доли). При росте давления знак не ставится, при падении давления знак «–» ставится обязательно.

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое синоптическая карта?
2. С какой целью создают синоптические карты?
3. Какие существуют карты погоды?
4. Как происходит кодировка метеорологической информации?
5. Какие метеорологические данные наносят на карту погоды?

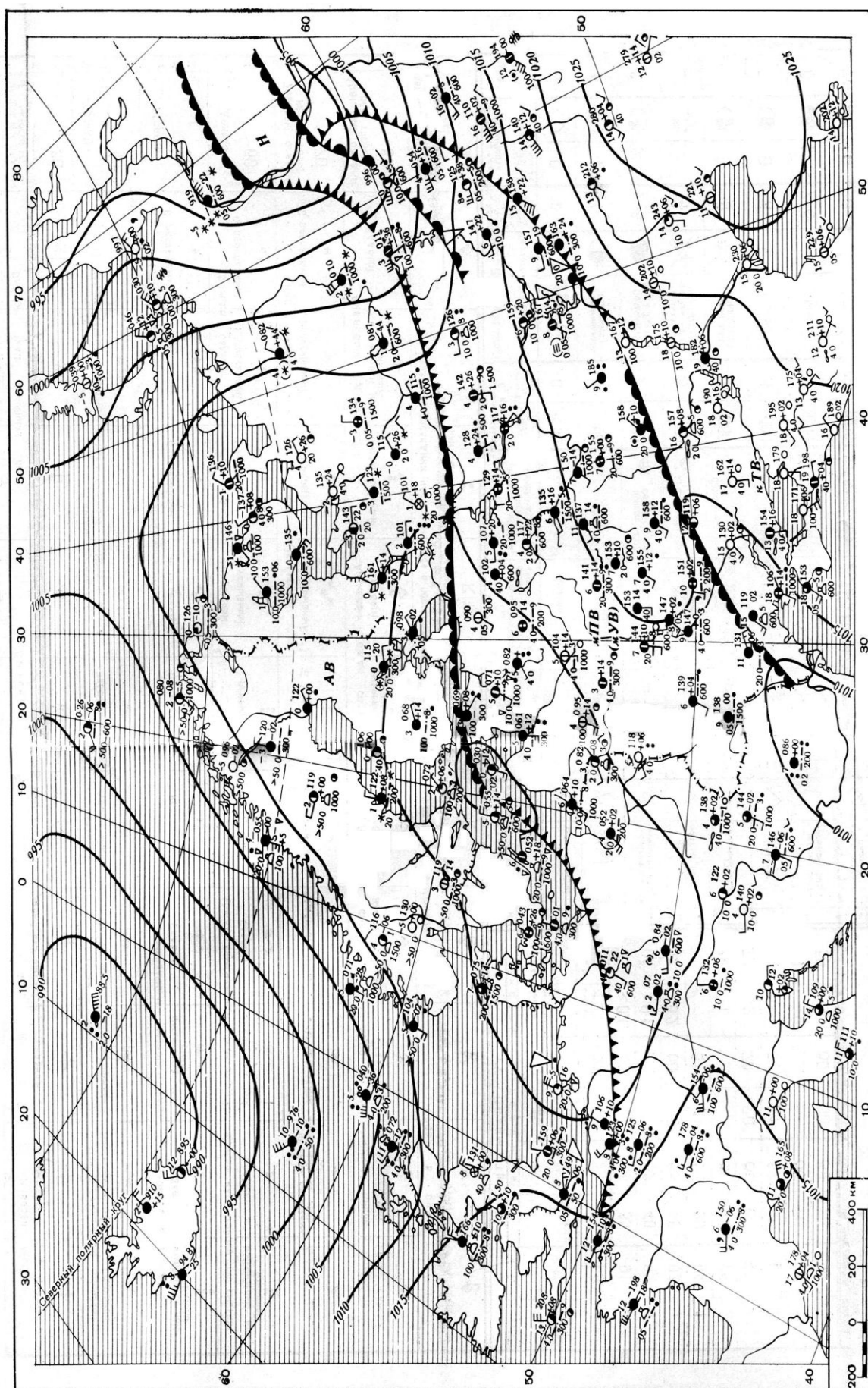


Рисунок 29 – Синоптическая учебная карта

**Лабораторная работа 16**  
**Прогноз запасов продуктивной влаги в метровом слое**  
**почвы к началу полевых работ**

*Задачи лабораторной работы*

1. Проработать по «Практикуму» и учебнику «Агрометеорология» тему:

- прогноз запасов продуктивной влаги в почве.

2. В рабочей тетради составить один из вариантов прогноза по четырем вариантам исходных данных, приведенных ниже.

*Порядок выполнения работы*

Прогноз запасов влаги на весну составляется с использованием расчетных методов на основании данных наблюдений над влажностью почвы осенью и над осадками зимнего периода.

Л.А. Разумова определила зависимость изменения запасов влаги к началу весны в различных климатических зонах нашей страны. Для районов, где наблюдается глубокое залегание грунтовых вод и зима устойчива, эта зависимость выражается уравнением

$$\Delta W = 0,115 r + 0,56 h - 20. \quad (1)$$

В южных районах (на Украине, Кавказе), в зоне глубокого залегания грунтовых вод, при неустойчивой зиме, обильном увлажнении почвы талыми водами во время оттепелей обогащение почвы влагой в зимний период может быть как очень сильным, так и слабым в зависимости от характера погоды. В этом случае уравнение имеет вид

$$\Delta W = 0,21 r + 0,62 h - 33. \quad (2)$$

В указанных формулах  $\Delta W$  – изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм) за период от последнего определения запасов влаги осенью (близкого к сроку перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}$ ) до перехода температуры через  $+5^{\circ}$  весной;  $r$  – количество осадков, выпавших за период от последнего определения влажности почвы осенью до момента составления прогноза, плюс ожидаемые осадки с момента составления прогноза до перехода среднесуточной температу-



ры воздуха через  $+5^{\circ}$  весной;  $h$  – недостаток насыщения почвы влагой до наименьшей полевой влагоемкости осенью, т. е. разность между наименьшей полевой влагоемкостью и запасом продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы при последнем осеннем определении. Прогноз запасов влаги к началу весны составляется, как правило, с месячной заблаговременностью.

Первым этапом работы при составлении прогноза запасов влаги является анализ исходных осенних ее запасов. Для районов, где запасы влаги осенью превышали наименьшую полевую влагоемкость или были равны ей, прогноз не составляется, так как изменения осенних запасов влаги к весне не произойдет. Для остальных районов, где почва с осени недонасыщена влагой, производят расчеты ожидаемых запасов влаги к началу весны.

### *Последовательность расчетов*

В первую очередь вычисляется недостаток насыщения почвы влагой осенью, он составил:

- под зябью (устойчивая зима)  $180 \text{ мм} - 50 \text{ мм} = 130 \text{ мм}$ ;
- под зябью (неустойчивая зима)  $180 \text{ мм} - 100 \text{ мм} = 80 \text{ мм}$ .

Далее определяется количество осадков за период от осени до перехода температуры весной  $+5^{\circ}\text{C}$ . В нашем примере переход температуры через  $+5^{\circ}\text{C}$  ожидается по прогнозу погоды 18 апреля, а прогноз составляется 5 марта. За период от 10 ноября (дата последнего определения влажности почвы) до 5 марта (дата составления прогноза) сумма осадков составила 80 мм. За период от 5 марта до 18 апреля (дата перехода температуры через  $+5^{\circ}\text{C}$  весной) сумма осадков ожидается 38 мм. Общая сумма осадков за весь период (от 10 ноября до 18 апреля) составила  $80 + 38 = 118 \text{ мм}$ .

Подставляя в формулы (1) и (2) числовые значения из приведенного примера, определяем ожидаемые изменения запасов влаги в почве от осени к весне.

Для зяби и устойчивой зимы

$$\Delta W = 0,115 \times 118 \text{ мм} + 0,56 \times 130 \text{ мм} - 20 = 66 \text{ мм}.$$

Для зяби и неустойчивой зимы

$$\Delta W = 0,21 \times 118 \text{ мм} + 0,62 \times 80 \text{ мм} - 33 = 41 \text{ мм}.$$

Прибавив к последнему (осеннему) показанию запасов влаги в метровом слое почвы изменение, получаем запасы продуктивной влаги к началу весны по уравнению  $W_{\text{вес}} = W_{\text{ос}} + W$ , а именно: под зябью при устойчивой зиме  $100 + 41 = 141 \text{ мм}$ . Рассчитанные

ожидаемые запасы влаги (в мм) можно оценить, выразив их в процентах от наименьшей полевой влагоемкости или в процентах от средних многолетних запасов влаги к началу весны.

*Расчет ожидаемых запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы к началу полевых работ*

Название	Зябь, устойчивая зима	Зябь, неустойчивая зима
<i>Исходные данные</i>		
1. Последнее определение влажности почвы осенью, дата	10/XI	10/XI
2. Запасы продуктивной влаги осенью, мм	50	100
3. Наименьшая полевая влагоемкость, мм	180	180
4. Осадки за период от последнего определения влажности почвы до составления прогноза, мм	80	80
5. Многолетние средние запасы влаги при переходе температуры через +5°, мм	110	150
<i>Данные по прогнозу погоды</i>		
6. Переход средней суточной температуры воздуха через +5° весной, дата	18/IV	18/IV
7. Осадки за период от составления прогноза до перехода температуры через +5 °С весной, мм	38	38
<i>Вычисленные данные</i>		
8. Недостаток насыщения почвы влагой осенью, мм	130	80
9. Осадки за период от последнего определения влажности почвы осенью до перехода температуры через +5 °С весной, мм	118	118
10. Изменение запасов влаги за осенне-зимне-весенний период, мм	66	41
11. Запасы влаги, ожидаемой весной, мм	115	141
12. То же, % от наименьшей полевой влагоемкости	64	80

*Задачи для лабораторной и домашней работ*

Определить: 1) изменение запасов влаги за осенне-зимне-весенний период (мм); 2) ожидаемые запасы влаги весной (мм); 3) то же в процентах от наименьшей полевой влагоемкости; 4) то же в процентах от средних многолетних запасов влаги к началу весны.

### *Варианты задач*

Название	Вариант			
	1	2	3	4
1. Последние определения влажности почвы осенью, дата	25/X	25/X	28/XI	18/XI
2. Запасы влаги осенью, мм	85	60	120	50
3. Наименьшая полевая влагоемкость, мм	200	180	180	120
4. Осадки за период от последнего определения влажности почвы до составления прогноза, мм	90	70	200	50
5. Переход средней суточной температуры воздуха через +5 °С весной (по прогнозу)	10/IV	20/IV	20/III	30/IV
6. Осадки за период от составления прогноза до перехода температуры через +5 °С (по прогнозу)	50	35	15	30
7. Многолетние средние запасы влаги при переходе температуры через +5 °С, мм	110	150	160	80
8. Дата составления прогноза	2/III	2/III	1/III	1/III

**Примечание.** Расчеты следует вести по форме таблицы для районов с устойчивой зимой (уравнение 1) и для районов с неустойчивой зимой (уравнение 2); расчетные величины запасов продуктивной влаги округлять до целых.

### *Контрольные вопросы*

1. Почвенная влага: влажность устойчивого завядания растений, продуктивная влага, наименьшая полевая влагоемкость.
2. Значение почвенной влаги для сельскохозяйственного производства.
3. Методы регулирования запасов почвенной влаги.

### ***Лабораторная работа 17*** ***а) Прогноз заморозков***

#### *Задачи лабораторной работы*

1. Проработать по «Практикуму» и учебнику «Агрометеорология» тему:  
- прогноз заморозков.
2. Составить краткий конспект по данной теме в тетради для самостоятельной работы.

3. Выполнить в рабочей тетради расчет минимальных температур почвы и воздуха по двум из четырех вариантов, предлагаемых в настоящем пособии.

#### *Варианты для расчетов*

Дано	Номер задачи			
	1	2	3	4
Температура сухого термометра в 13 ч, °С	10,0	8,4	9,3	14,6
Температура смоченного термометра в 13 ч, °С	6,0	4,2	4,0	9,3
Относительная влажность в 13 ч, %	60	50	40	50
Облачность в 21 ч, баллов	0	9	5	10

#### *Порядок выполнения работы*

1. По данным наблюдений в 13 ч за температурой и относительной влажностью и в 21 ч за облачностью определить ожидаемую минимальную температуру воздуха и почвы (результат записать в рабочей тетради последовательно в 13 ч и в 21 ч). Расчеты температуры выполнить с точностью 0,1 °С.

2. Скорректировать полученную минимальную температуру (интенсивность заморозка) воздуха (в 21 ч) в зависимости от местоположения.

*Таблица 19 – Поправка в значение минимальной температуры в зависимости от местоположения*

Местоположение	Изменение интенсивности заморозка, °С	Задача			
		1	2	3	4
Вершины и верхние части склонов	+2,0				
Долины в холмистой местности	–2,0				
Котловины	–5,0				
Поляны	–2,0				
Города	+2,5				

#### *Прогноз заморозков по способу Михалевского*

Для определения ожидаемой минимальной температуры воздуха применяется формула

$$M_B = t' - (t - t') \times C.$$

Ожидаемая температура поверхности почвы определяется по формуле

$$M_{\Pi} = t' - (t - t') \times 2C,$$

где  $M_{\Pi}$  – ожидаемая минимальная температура воздуха и почвы;

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

$C$  – коэффициент, зависящий от влажности воздуха.

*Коэффициент  $C$  в зависимости от влажности воздуха*

Относительная влажность, %	20	25	30	40	45	50	55	60
Коэффициент $C$	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5
Относительная влажность, %	65	70	75	80	85	90	95	100
Коэффициент $C$	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Расчет выполняется в два этапа:

1. По показаниям психрометра около 13 ч вычисляют ожидаемую минимальную температуру воздуха и почвы;

2. По наблюдениям за облачностью в 21 ч вычисленные минимальные температуры уточняют следующим образом:

а) если облачность меньше 4 баллов, то ожидаемый (рассчитанный по данным, полученным в 13 ч) минимум температуры воздуха и почвы уменьшают на 2°;

б) если облачность от 4 до 7 баллов, в ожидаемый минимум поправки не вводят, т. е. оставляют результат, полученный в 13 ч;

в) если облачность больше 7 баллов, то ожидаемый минимум температуры увеличивают на 2°.

Результаты прогноза заморозков по способу Михалевского оцениваются в зависимости от величины минимальной температуры, полученной после уточнения в 21 ч.

Минимальная температура	Вероятность заморозка
Меньше -2°	Заморозок ожидается
От -2° до +2°	Заморозок вероятен
Больше 2°	Заморозок маловероятен

### *Контрольные вопросы*

1. Перечислить типы заморозков.
2. Охарактеризовать влияние местных условий на заморозки.
3. Перечислить меры борьбы с заморозками.

**б) Агрометеорологический прогноз сроков наступления  
фаз развития ранних яровых культур  
(фенологический прогноз)**

*Задачи лабораторной работы*

1. Проработать по «Практикуму» тему «Фенологические прогнозы»:

- прогноз сроков наступления фаз развития растений;
- прогноз сроков созревания зерновых культур;
- прогноз сроков цветения плодовых.

2. Составить один из видов прогноза по указанию преподавателя. Варианты задач для самостоятельной работы даются ниже.

*Порядок выполнения работы*

Методика составления фенологического прогноза основана на зависимости темпов развития растений от теплового фактора. Давно было замечено, чем выше (до известного предела) температура воздуха в какой-то период, тем быстрее происходит образование новых органов или наступление новых фаз развития растений.

*Фазами развития* называются внешние морфологические изменения (всходы, кущение, колошение, молочная и восковая спелость), наступающие у растений. Фиксируя даты их наступления, мы тем самым можем судить о ходе развития растений в зависимости от особенностей погоды данного года.

Развитие растений происходит только при определенном уровне тепла. Для каждого вида растений существует свой нижний предел температуры, при котором начинается их развитие. Так, для многих культурных растений (зерновых, плодово-ягодных культур) нижним пределом их развития (биологическим нулем) считается  $5^{\circ}$ . Для других, более теплолюбивых, сельскохозяйственных культур биологический минимум температуры выше (у кукурузы –  $+10^{\circ}\text{C}$ , хлопчатника –  $+13^{\circ}\text{C}$ ).

Для того чтобы растение нормально развивалось и могло перейти из одной фазы в следующую, требуется определенная сумма тепла, которая должна накопиться за данный межфазный период. Эта постоянная величина называется суммой эффективных

температур ( $\sum t_{эф}$ ), которая подсчитывается за весь межфазный период из средних суточных температур воздуха, уменьшенных на значение нижнего предела температуры развития данной сельскохозяйственной культуры.

Для большинства сельскохозяйственных культур и основных фаз их развития такие  $\sum t_{эф}$  определены и опубликованы в соответствующих изданиях.

Например, суммы эффективных температур ( $\sum t_{эф}$ ) для отдельных межфазных периодов развития яровой пшеницы, овса, ячменя будут нижеследующие.

Культура	Сумма эффективных температур ( $\sum t_{эф}$ ) для межфазных периодов, С	
	выход в трубку – колошение (выметывание)	колошение (выметывание) – восковая спелость
Яровая пшеница	330	490
Овес	375	428
Ячмень	330	380–410

В различные годы продолжительность любого межфазного периода для какой-то сельскохозяйственной культуры может быть разная, но величина суммы эффективных температур для данного периода остается всегда постоянной. Для растений, у которых нижний предел развития равен  $5^{\circ}$ , используется следующая формула составления фенологического прогноза:

$$D = D_1 + \frac{A}{t_{cp} - B}, \quad (1)$$

где  $D$  – прогнозируемая искомая дата наступления фазы;

$D_1$  – начальная дата, от которой ведется расчет;

$A$  – постоянная величина суммы эффективных температур ( $\sum t_{эф}$ ) за определенный межфазный период;

$t_{cp}$  – ожидаемая средняя суточная температура воздуха на ближайший месяц;

$B$  – нижний предел температуры (биологический нуль) развития растений.

За исходную дату ( $D_1$ ) составления прогноза обычно берут день массового наступления предыдущей фазы. Например, прогноз фазы восковой спелости у зерновых культур составляют заблаговременно, примерно за месяц, т. е. в фазу колошения.

Среднюю суточную температуру воздуха ( $t_{cp}$ ) для искомого межфазного периода определяют по прогнозу погоды, который ежемесячно выпускается Гидрометцентром или местным бюро погоды. Зная, какая средняя температура воздуха будет по прогнозу на ближайший месяц, можно подсчитать, сколько требуется дней ( $n$ ) для накопления суммы эффективных температур, которая требуется растению для данного межфазного периода.

Таким образом, задача составления фенологического прогноза состоит в нахождении продолжительности межфазного периода ( $n$ ) по прогнозируемой для данного года средней суточной температуре воздуха ( $t_{cp}$ ), постоянной сумме эффективных температур ( $A$ ) и биологическому нулю ( $B$ ) развития сельскохозяйственной культуры.

Вычисление производится по второму слагаемому формулы (1)

$$n = \frac{A}{t_{cp} - B} \quad (2)$$

Например:  $A = 330^\circ$ ,  $t_{cp} = 20^\circ \text{C}$ ,  $B = +5^\circ \text{C}$ , тогда

$$n = \frac{330}{20 - 5} = \frac{330}{15} = 22 \text{ дня.}$$

Для вычисления даты наступления прогнозируемой фазы ( $D$ ) развития сельскохозяйственной культуры в данном году следует к исходной дате ( $D_1$ ) составления прогноза прибавить число дней ( $n$ ), требующееся для данного межфазного периода

$$D = D_1 + n. \quad (3)$$

Например:  $D_1 = 8/\text{VI}$ ,  $n = 22$

$$D = 8/\text{VI} + 22 = 30/\text{VI}.$$

**Примечания:** 1. Если по прогнозу погоды сведения о предполагаемом температурном режиме ненадежны, то для вычисления  $D$  используют средние многолетние данные по температуре воздуха из климатологического справочника. 2. Датой наступления прогнозируемой фазы считается следующий день после даты накопления  $\sum t_{эф}$ .

### *Задачи для лабораторных и самостоятельных работ*

Составить прогноз сроков наступления фаз: 1 – колошение яровой пшеницы (начальная фаза – выход в трубку); 2 – восковая спелость яровой пшеницы (начальная фаза – колошение); 3 – выметывание овса (начальная фаза – выход в трубку); 4 – восковая спелость овса (начальная фаза – выметывание) по следующим исходным данным:



Культура	Исходная фаза составления прогноза	Дата	Сумма эффективных температур, °С	Средняя суточная температура, °С	Нижний предел развития растений, °С
Яровая пшеница	Выход в трубку	12/VI	330	18,0	5
Яровая пшеница	Колошение	7/VII	490	20,5	5
Овес	Выход в трубку	21/VI	375	16,0	5
Овес	Выметывание	25/VII	428	20,5	5

### *в) Прогноз сроков цветения плодовых культур*

Прогноз времени зацветания плодовых культур составляется в европейской части нашей страны по суммам эффективных температур, установленным А.А. Щиголевым. Метод прогноза основан на зависимости темпов развития растений от теплового фактора. Каждая сельскохозяйственная культура для прохождения какого-либо межфазного периода требует определенную сумму так называемых эффективных среднесуточных температур ( $A$ ) выше нижнего температурного предела ее развития ( $B$ ). Для плодовых культур, произрастающих в средней полосе европейской части страны, нижним пределом считается 5 °С.

Для многих сортов яблони установленная сумма эффективных температур ( $A$ ) от начала вегетации до зацветания составляет  $185^{\circ} \pm 10^{\circ}$ . Расчет прогноза производится по следующей формуле

$$D = D_0 + \frac{A}{t_{cp} - B},$$

где  $D$  – искомая дата наступления прогнозируемой фазы;

$D_0$  – исходная дата перед составлением прогноза;

$A$  – сумма эффективных среднесуточных температур;

$t_{cp}$  – среднесуточная температура за межфазный период, определяемая по прогнозу погоды или по многолетним данным;

$B$  – нижний предел развития растений.

$$\text{В формуле } \frac{A}{t_{cp} - B} = n$$

$n$  – число дней, которое требуется для прохождения растением межфазного периода.

Таким образом, для определения прогнозируемой даты наступления фазы нужно к начальной дате составления прогноза ( $D_0$ ) прибавить число дней ( $n$ ), которое необходимо для того, чтобы наступила прогнозируемая фаза ( $D$ )

$$D = D_0 + n.$$

*Пример.* Найти дату цветения яблони сорта Антоновка обыкновенная для станции Сердобск (см. исходные данные в таблице).

При расчете даты накопления необходимой суммы эффективных температур до цветения следует к накопленной сумме эффективных температур на дату  $D_0$  прибавить  $\sum t_{эф}$ , которая накопится за вторую декаду мая, а затем недостающую до нормы  $\sum t_{эф}$  высчитать по накоплению за каждый день в III декаде мая.

В данном примере прогнозируемая дата наступления фазы цветения яблони находится путем суммирования числа дней за вторую декаду мая и числа дней, за которые накопится недостающая до нормы ( $N$ ) сумма в III декаде мая.

### *Порядок выполнения работы*

1. Найти недостающую сумму эффективных температур до нормы ( $185^\circ$ ), которая должна накопиться к началу цветения со времени составления прогноза (11 мая):  $185^\circ - 90^\circ = 95^\circ$ .

2. Найти сумму эффективных температур, которая накопится за II декаду мая, по средней многолетней декадной температуре  $13,8^\circ \text{C}$ .

С поправкой на прогноз погоды средняя декадная температура во II декаде мая будет равна  $11,8^\circ$ .

Находим  $\sum t_{эф}$  за II декаду мая:

а)  $11,8^\circ - 5^\circ = 6,8^\circ$  – сумма эффективных температур, которая накапливается за каждый день II декады мая;

б)  $6,8^\circ \times 10 = 68^\circ$  – за II декаду мая.

3. Найти  $\sum t_{эф}$ , которая накопится за весь период от времени составления прогноза до конца II декады мая:

$$90^\circ + 68^\circ = 158^\circ.$$

Определим, какая  $\sum t_{эф}$  недостает до нормы:

$$185^\circ - 158^\circ = 27^\circ$$

4. Найти, на какой день III декады мая накопится недостающая  $\sum t_{эф} = 27^\circ$ . Для этого определим, какая  $\sum t_{эф}$  накапливается за каждый день в III декаде мая:

а) средняя многолетняя декадная температура воздуха по исходным данным на станции Сердобск равна  $15,6^{\circ}$ , а с поправкой на прогноз погоды в данном году она будет составлять

$$15,6^{\circ} - 2^{\circ} = 13,6^{\circ}.$$

За каждый день накапливается  $\sum t_{\text{эф}}$   
 $13,6^{\circ} - 5^{\circ} = 8,6^{\circ};$

б) определим, за сколько дней накопится  $\sum t_{\text{эф}} = 27^{\circ}$ :  
 $27^{\circ} : 8,6^{\circ} = 3.$

Следовательно,  $27^{\circ}$  накопится за 3 дня.

5. Находим общее число дней, которое необходимо для накопления нормы:

$$D = D_0 + n,$$

где  $n = 10 + 3 = 13$  дней.

6. Определяем по формуле дату начала цветения яблони:

$$D = 10/V + 13 \text{ дней} = 23 \text{ мая}.$$

Следовательно, цветение яблони наступит 24 мая (на следующий день).

### *Задание для лабораторной и самостоятельной работ*

Составить прогноз времени наступления начала цветения яблони сорта Антоновка обыкновенная для отдельных пунктов Пензенской области.

#### *Исходные данные (в данном году)*

Пункт	D <sub>0</sub> , май	А (от начала вегетации до цветения)	$\sum t_{\text{эф}}$ , накопленная на дату D <sub>0</sub>	Среднесуточная t <sub>ср</sub> в мае (норма)		В	n	D
				II декада	III декада			
1. Заметчино	10	185°	79	13,7	15,2	5°		
2. Сердобск	То же	То же	90	13,8	15,6	То же		
3. Н.-Ломов	**	**	90	13,6	15,7	**		
4. Кондоль	**	**	114	13,4	15,0	**		
5. Кузнецк	**	**	104	13,0	14,8	**		

**Примечание.** По прогнозу погоды среднесуточная температура воздуха в мае ожидается на  $2^{\circ}\text{C}$  ниже средней многолетней нормы.

*Лабораторная работа 18*  
*Агрометеорологические прогнозы*  
*урожая сельскохозяйственных культур*

*Задачи лабораторной работы*

1. Проработать по учебнику «Агрометеорология» (А.П. Лосев, Л.И. Журина, 2001), раздел 16.4 «Прогнозы урожайности основных сельскохозяйственных культур, трав, пастбищной растительности и качества урожая» (с. 280).
2. Проработать тему по «Практикуму».
3. Составить, по указанию преподавателя, по одному агрометеопрогнозу урожая озимой пшеницы и кукурузы.

Прогнозы урожая сельскохозяйственных культур имеют государственное значение, так как они помогают заблаговременно планировать ожидаемый сбор урожая, его распределение, закупки, продажу на экспорт, семенной фонд и т. д.

Основу прогноза составляет зависимость урожая от основных факторов, определяющих величину урожая. К ним относятся факторы агрометеорологические (запасы влаги в почве, осадки, температура и др.) и биологические, при помощи которых оценивается состояние растений (количество перезимовавших растений озимых культур, площадь листовой поверхности и др.).

*Порядок выполнения работы*  
*Прогноз урожая зерна кукурузы*

Метод прогноза урожая зерна составляется в фазу выметывания метелки заблаговременно, почти за 2 месяца до уборки. В качестве показателей для расчета ожидаемого урожая используются:

- а) запасы продуктивной влаги в слое 0–50 см почвы в фазу выметывания султана (мм);
- б) площадь листовой поверхности в эту же фазу (тыс. м<sup>2</sup>/га).

Хорошие условия для формирования урожая зерна создаются при запасах продуктивной влаги в слое почвы 0–50 см, равных 60–70 мм, и средней суточной температуре в пределах 18–22 °С после выметывания, неудовлетворительные – при запасах влаги менее 20 мм.

Урожай кукурузы зависит также от состояния посевов к моменту выметывания султана. Интегральным показателем, характеризующим состояние посевов, служит площадь листовой поверхности (тыс. м<sup>2</sup>/га), которая определяет продуктивность фотосинтеза. На хозяйственных посевах площадь листовой поверхности может изменяться от 10 до 30 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га.

По площади листовой поверхности можно дать следующую оценку состояния растений:

а) менее 10 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га – свойственна посевам ранних сортов и изреженным посевам средних и поздних сортов кукурузы; состояние посева неудовлетворительное;

б) от 10 до 15 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га – состояние растений удовлетворительное;

в) 16–25 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га – свойственна посевам кукурузы в хорошо увлажненных районах Северного Кавказа; состояние посевов хорошее;

г) 26–30 тыс. м<sup>2</sup> на 1 га и более состояние посевов отличное.

Наибольшая продуктивность фотосинтеза наблюдается при площади листовой поверхности, указанной в пункте г, наименьшая в пункте а.

Площадь листовой поверхности можно вычислить по формуле

$$S = 36,94h - 1632,8,$$

где  $S$  – площадь листьев одного растения, см<sup>2</sup>;

$h$  – средняя высота растений (из 20 растений в одном ряду), см.

Зная количество растений на 1 га (густота посева), получим площадь листовой поверхности (в тыс. м<sup>2</sup> на 1 га).

Прогноз урожая зерна кукурузы основывается на уравнениях, в которые включены площадь листовой поверхности  $S$  (тыс. м<sup>2</sup>/га), запасы продуктивной влаги  $W$  в слое почвы 0–50 см в фазу выметывания метелки (мм) и температура воздуха  $t$  в течение месяца после выметывания метелки, когда происходит цветение, оплодотворение початка и налив зерна;  $t$  указывается по месячному прогнозу погоды.

В практике прогноза кукурузы используют систему уравнений, полученных для различных площадей листовой поверхности посева в фазу выметывания метелки. Эти уравнения имеют следующий вид:

$$Y = 0,1 \times (aW^2 + bW + c) \times K_p,$$

где  $Y$  – урожай при данной площади листовой поверхности (т/га). Коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$  зависят от площади листовой поверхности.

Например:

$a = -0,0071$ ,  $b = 1,41$ ,  $c = -3,2$  при  $S = 30$  тыс. м<sup>2</sup>/га;

$a = -0,0060$ ,  $b = 1,10$ ,  $c = -4,2$  при  $S = 20$  тыс. м<sup>2</sup>/га;

$a = -0,0029$ ,  $b = 0,53$ ,  $c = -1,5$  при  $S = 10$  тыс. м<sup>2</sup>/га.

Графически эти уравнения представлены кривыми второго порядка (рисунок 30).

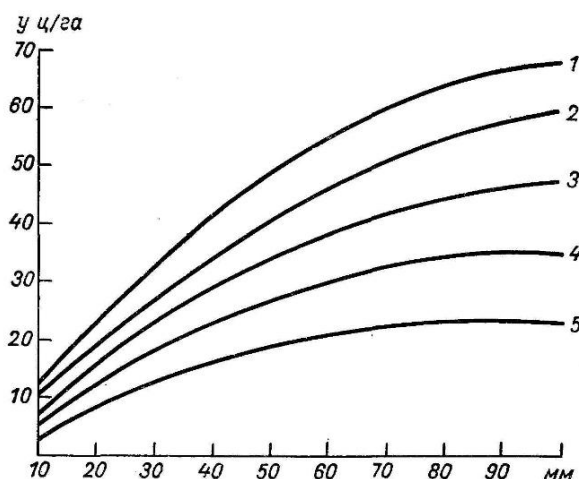


Рисунок 30 – Зависимость урожая зерна кукурузы (т/га) от запасов продуктивной влаги (мм) в фазу выметывания метелки при разной площади листовой поверхности (тыс. м<sup>2</sup>/га)

1–30 тыс. м<sup>2</sup>/га, 2–25 тыс. м<sup>2</sup>/га, 3–20 тыс. м<sup>2</sup>/га, 4–15 тыс. м<sup>2</sup>/га, 5–10 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Коэффициент  $K_t$ , зависящий от температуры в течение месяца после выметывания метелки

Запас (W) продуктивной влаги (мм) в слое 0–50 см	Средняя за период температура воздуха, °C				
	16	18	20	22	24
100	0,68	0,86	0,97	1,00	0,96
80	0,72	0,88	0,99	0,98	0,90
60	0,78	0,90	1,00	0,93	0,80
40	0,84	0,93	0,97	0,86	0,65
20	0,90	0,92	0,90	0,80	0,50

Например, предположим, что  $S = 30$  тыс. м<sup>2</sup>/га,  $W = 60$  мм.

Подставив значение  $S$  и  $W$  в основное уравнение, получаем:

$$Y_{30} = 0,1 \times (-0,0071 \cdot 3600 + 1,41 \cdot 60 - 3,2) = 5,6 \text{ т/га.}$$

Для расчета урожая можно также использовать график (рис. 30).

Коэффициент  $Kt$  при  $t = 18^\circ \text{C}$  составляет 0,90. Окончательный результат расчета урожая зерна составляет  $5,6 \times 0,90 = 5,0$  т/га.

### *Задачи для лабораторной и домашней работ*

#### *Расчет ожидаемого урожая зерна кукурузы*

Вариант	Запасы продуктивной влаги в почве (мм) в фазу выметывания метелки	Площадь (тыс. м <sup>2</sup> ) листовой поверхности на 1 га посева	Средняя $t$ воздуха в течение месяца после выметывания метелки	Урожай зерна, т/га
1	60	20	22	
2	80	30	20	
3	40	10	24	
4	100	30	21	
5	50	25	19	
6	70	15	20	
7	70	20	18	
8	30	20	22	
9	80	25	16	
10	90	30	22	

### **3 АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА**

Составить агроклиматическую характеристику выбранного района по Пензенской области, используя примерный план и агроклиматический справочник.

В работе должно быть четыре раздела: первый – краткая физико-географическая характеристика; второй – климатическая характеристика; третий – агроклиматическая характеристика; четвертый – мероприятия, направленные на улучшение агроклиматических условий возделывания сельскохозяйственных культур в данном районе области.

#### **Примерный план составления агроклиматической характеристики района**

##### *Раздел 1*

Необходимо использовать физико-географические сведения по выбранному району, отметив его расположение в области, характер рельефа, преобладающие почвы, растительность.

##### *Раздел 2*

Для характеристики климата района следует проанализировать текстовую часть справочника и основные климатические данные, помещенные в таблицах.

Вначале следует выделить по датам перехода температуры через 0° теплый и холодный сезоны года (начало, конец, продолжительность).

Затем по каждому сезону составить отдельно описание климата, охарактеризовав термические условия и условия увлажнения.

*Характеристика по термическим условиям.* Для теплого сезона отметить температуру самого теплого месяца, среднюю и обеспеченную в 80 % лет сумму активных температур воздуха; охарактеризовать заморозки: привести средние даты окончания весенних и наступления осенних заморозков, самые ранние и самые поздние, продолжительность безморозного периода.

Для холодного периода года привести среднюю температуру самого холодного месяца, абсолютный минимум и средний из абсолютных минимумов температуры воздуха. Дать характеристи-



ку суровости зимы по среднему из абсолютных минимумов температуры: умеренно мягкая ( $-20...-25^{\circ}$ ), умеренно холодная ( $-25...-30^{\circ}$ ), холодная ( $-30...-35^{\circ}$ ), очень холодная ( $-35...-40^{\circ}$ ), суровая ( $-40...-45^{\circ}$ ).

*Характеристика по условиям увлажнения.* Привести сумму осадков за теплый сезон, отметив месяцы с максимальным количеством осадков в год; рассчитать процент осадков за теплый период года от годовой суммы. Отметить наиболее сухие и влажные месяцы теплого сезона, сравнив данные о влажности воздуха.

Охарактеризовать условия увлажнения почвы в теплый период года, подчеркнув тип годового хода запасов влаги, их величины (в мм) весной и осенью в метровом слое почвы.

Для холодного периода года отметить даты образования устойчивого снежного покрова, его схода и число дней с устойчивым снежным покровом, а также запасы воды, накопившиеся в снеге. Определить среднюю высоту снежного покрова в самый холодный месяц зимы и максимальную высоту снега за зиму.

Общую климатическую оценку условий увлажнения за период активной вегетации можно дать по гидротермическому коэффициенту (*ГТК*), вычислив его по формуле

$$ГТК = \frac{P}{0,1 \sum t > 10^{\circ}},$$

где  $P$  – количество осадков за период с температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$ , мм;

$\sum t > 10^{\circ}$  – сумма температур за период с температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

Значения *ГТК*: 1,6–1,3; 1,3–1,0; 1,0–0,7; 0,7–0,4; < 0,4.

Характеристика зоны по увлажнению, соответственно: влажная, слабозасушливая, засушливая, очень засушливая, сухая.

График годового хода температуры воздуха и осадков чертится для иллюстрации климата района.

### Раздел 3

Для оценки агроклиматических условий произрастания сельскохозяйственных культур необходимо использовать материалы справочника.

*Теплообеспеченность культур.* Провести оценку ресурсов тепла района применительно к ряду сельскохозяйственных культур и их сортам, используя график (рисунок 31) и приведенную ниже таблицу, где представлены данные о потребности культур в тепле. Рассчитать теплообеспеченность сельскохозяйственных куль-

тур и их сортов в районе по условиям их обеспеченности теплом, причем считать, что, с хозяйственной точки зрения, сельскохозяйственная культура должна быть обеспечена теплом на 80 % и более.

Дано: 1) Потребность в тепле позднеспелого сорта картофеля составляет  $1800^{\circ}$  (сумма активных температур); 2) ресурсы тепла в Пензенском районе  $2300^{\circ}$  (сумма активных температур). Найти обеспеченность картофеля теплом в этой зоне.

Находим разность между потребностями картофеля в тепле и термическими ресурсами территории:  $1800^{\circ} - 2300^{\circ} = -500^{\circ}$ .

Затем по рисунку 31 на оси абсцисс, где от 0 в обе стороны отложены отклонения сумм активных температур от многолетней средней величины, находим для отклонения  $-500^{\circ}$  обеспеченность, равную = 95 %.

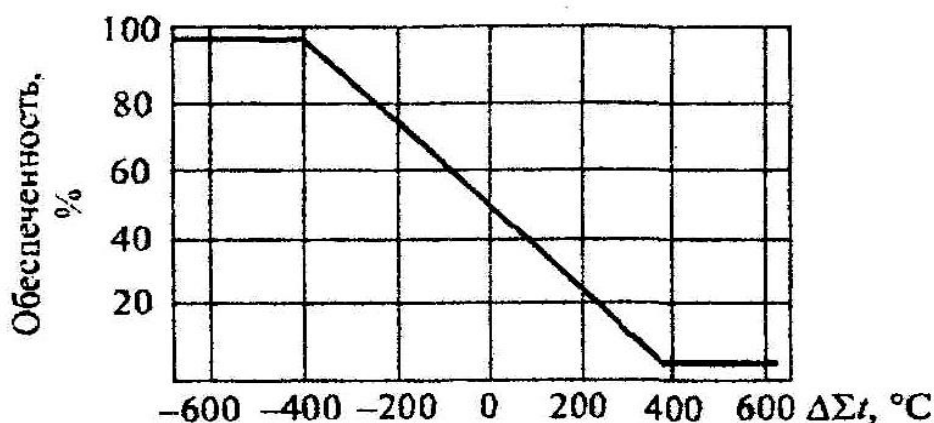


Рисунок 31 – Кривая обеспеченности сумм температур за период с температурой выше  $10^{\circ}$

Пример расчета теплообеспеченности по графику (рисунок 31).

Вывод: если обеспеченность культуры теплом составляет 95 %, то возделывать такую культуру в данной зоне возможно.

Таблица 20 – Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур

Культура	Скороспелость сорта	Потребность в тепле $\Sigma t$ , градусы	Фактическое количество тепла $\Sigma t$ , градусы	Обеспеченность теплом, %
1	2	3	4	5

Окончание таблицы 20

1	2	3	4	5
Озимая пшеница	Р	1400		
	П	1500		
Яровая пшеница	Р	1400		
	С	1500		
	П	1700		
Ячмень	С	1350		
	П	1450		
Горох	Р	1250		
	С	1400		
Лен	Р	1300		
	П	1500		
Картофель	Р	1200		
	С	1500		
	П	1800		
Кукуруза	Р	1900		
	С	2500		
	На силос	1300		
Цитрусовые	Р	4000		
Сахарный тростник	Р	5000		
Финиковая пальма	Р	4500		
Хлопчатник	Р	2850		
Виноград	Р	2800		
Рис	Р	2300		
Сорго	Р	2500		

**Примечание.** Р – раннеспелый; С – среднеспелый; П – позднеспелый.

*Влагообеспеченность культур.* Отметить обеспеченность запасами влаги в почве основных сельскохозяйственных культур в различные периоды вегетации.

*Условия перезимовки.* Показать вероятность вымерзания озимых, связав это явление с залеганием снежного покрова.

В заключение дать общую характеристику агроклиматических условий района.

#### Раздел 4

На основании составления агроклиматического описания указать, какие агротехнические мероприятия целесообразно применять для эффективного использования климатических особенностей района, а также какие лесомелиоративные мероприятия следует рекомендовать для улучшения агроклиматических условий в целях повышения продуктивности сельского хозяйства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, В.И. Практикум по синоптической метеорологии. Руководство к лабораторно-практическим работам по синоптической метеорологии и атлас учебных синоптических материалов / В.И. Воробьев. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2005. – 304 с.
2. Дужников, А.П. Агрометеорология: методические указания / А.П. Дужников, Е.В. Павликова. – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – 59 с.
3. Дужников, А.П. Практикум по агрометеорологии: учебное пособие / А.П. Дужников, Н.В. Корягина. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 168 с.
4. Лосев, А.П. Агрометеорология / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. – М.: Колос, 2001. – 300 с.
5. Метеорология и климатология: методические указания / Сост.: А.Н. Орлов, Е.В. Павликова, Н.Н. Тихонов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2011. – 91 С.
6. Полякова, Л.С. Метеорология и климатология: учебное пособие / Л.С. Полякова, Д.В. Кашарин. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 107 с.

## СЛОВАРЬ ПОНЯТИЙ И ТЕРМИНОВ

**Актинометр** – прибор для измерения интенсивности прямой солнечной радиации.

**Актинометрические приборы** – приборы для измерения интенсивности лучистой энергии.

**Альbedo** – отношение отраженной радиации к суммарной, выраженное в процентах.

**Амплитуда годового хода температуры** – разность между среднемесячной температурой самого холодного и самого теплого месяцев.

**Амплитуда суточных колебаний температуры** – разность максимальной и минимальной суточных температур.

**Анемометр** – прибор, применяемый для измерения средней скорости ветра за какой-либо промежуток времени.

**Антициклон** – область повышенного давления.

**Атмосфера** – воздушная оболочка Земли, состоящая из смеси около 20 различных газов.

**Атмосферное давление** – это сила, с которой давит на единицу земной поверхности столб воздуха, простирающийся от поверхности земли до верхней границы атмосферы.

**Бар** – единица измерения атмосферного давления ( $1000000 \text{ дин/см}^2$ ).

**Барическая ступень** – расстояние по вертикали, на котором давление меняется на 1 гПа. Характеризует изменение давления с высотой.

**Барограф** – прибор для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления.

**Бора** – штормовой, порывистый и холодный ветер, направленный вниз по горному склону и приносящий в зимнее время значительное похолодание.

**Бриз** – местный ветер на побережье морей, больших озер, водохранилищ и рек.

**ВГТ** – показатель изменения температуры воздуха на 100 м высоты.

**Весовой снегомер** – прибор для определения плотности снежного покрова и запасов воды в снеге в полевых условиях.

**Влажноадиабатический градиент** – величина, характеризующая изменения температуры на каждые 100 м высоты при адиабатическом подъеме насыщенного воздуха.

**Г.б.г.** – горизонтальный барический градиент, величина, характеризующая изменения давления вдоль горизонтали.

**Гигрограф** – прибор для непрерывной регистрации изменений относительной влажности воздуха.

**Гомосфера** – нижний 94-километровый однородный слой атмосферы.

**Горизонтальный барический градиент (ГБГ)** – изменение давления вдоль горизонтали, направленной перпендикулярно к изобарам от высокого давления в сторону низкого, приходящееся на расстояние 100 км.

**Декретное время** – время, которое на один час больше поясного.

**Декретное московское время** – декретное время второго часового пояса.

**Изотермия** – явление, когда температура воздуха с увеличением высоты не изменяется.

**Инверсия температуры** – возрастание температуры воздуха с высотой.

**Инсоляция** – поток прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность.

**Истинные солнечные сутки** – период времени между двумя последовательными прохождением истинного Солнца через меридиан данного места.

**Кардинальные точки** – минимальное и максимальное значения фактора, при которых возможно существование организма.

**Муссон** – устойчивый сезонный ветер над определенными областями Земли, направление которого резко меняется два раза в год.

**Озоновая дыра** – уменьшение концентрации озона в стратосфере.

**Окклюзии фронт** – атмосферный фронт, образовавшийся в результате слияния теплого и холодного фронтов циклона.

**Пассат** – это устойчивый ветер восточной четверти, господствующий в тропических широтах, особенно над океанами.

**Пиранометр** – прибор для измерения рассеянной и суммарной солнечной радиации.

**Плювиограф** – прибор для непрерывной регистрации количества и интенсивности жидких осадков.

**Почвенный дождемер** – прибор, предназначенный для измерения жидких осадков почти на уровне почвы.

**«Парниковый эффект»** – явление повышения температуры в нижнем слое атмосферы.

**Роза ветров** – диаграмма, показывающая повторяемость направлений ветра в течение некоторого промежутка времени.

**Солнечная постоянная** – интенсивность прямой радиации на верхней границе атмосферы ( $S_0 = 1,97 \text{ кал/см}^2 \text{ мин} = 136 \text{ мВт/см}^2$ ).

**Сублимация** – переход водяного пара в твердое состояние, минуя жидкую фазу.

**Суммарная радиация** – сумма солнечной инсоляции и рассеянной радиации.

**Тепловая конвекция** – перенос объемов воздуха по вертикали.

**Теплоемкость почвы** – количество тепла, необходимое для нагревания на  $1^\circ$  или на  $1 \text{ м}^3$  или  $1 \text{ кг}$  почвы.

**Термограф** – прибор для непрерывной регистрации изменений температуры воздуха.

**Термоизоплеты** – кривые, соединяющие точки с одинаковыми температурами почвы.

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

**Турбулентность** – вихревое хаотическое движение небольших объемов воздуха в общем потоке воздуха.

**«Точка Пастера»** – 1/100 часть современного содержания кислорода в атмосфере.

**ФАР** – фотосинтетически активная радиация, спектр солнечной радиации с интервалом длин волн 380–710 нм.

**Фён** – местный теплый сухой ветер, дующий временами с гор в долины.

**Фреоны** – большая группа хлорфторуглеводородов.

**Ядра конденсации** – мельчайшие частицы (главным образом, сульфатные), на поверхности которых идет конденсация водяного пара.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**



## Приложение 1

Насыщающая упругость водяного пара  $E_v$  (мб) над плоской поверхностью чистой воды при разных температурах

t °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	6,9	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	2,8	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

## Приложение 2

Альбедо различных видов подстилающей поверхности, проц.

Поверхность	Характеристика	Альбедо
Почва		
Чернозем	сухой	14
	влажный	8
Глина	сухая	23
	влажная	16
Поле	паровое сухое	8–12
	паровое влажное	57
	вспаханное влажное	14
Песок	желтый	35
	белый	34–40
	речной	40
Растительный покров		
Трава	зеленая	26
	сухая	19
Лес		10–18
Снежный покров		
Снег	сухой чистый	84–95
	влажный чистый	63
	мелкозернистый влажный	40–60
	пропитан водой, влажный	29–48
Лед	Морской	36

### Приложение 3

Средняя месячная температура воздуха, °С

Месяц	Вариант													
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Январь	−16,0	−7,1	−13,7	−16,6	−8,6	−13,0	−8,8	−3,3	−10,5	−4,5	−11,7	−13,7	−6,0	−7,2
Февраль	−15,8	−5,4	−12,7	−14,9	−7,5	−13,6	−8,7	−0,6	−2,9	−1,5	−8,8	−10,1	−2,9	−7,8
Март	−9,9	−0,4	−7,8	−7,4	−0,2	−12,1	−1,2	3,7	7,4	5,1	−2,8	−3,1	5,6	3,6
Апрель	3,0	7,2	2,1	5,6	9,6	−8,5	3,5	8,8	19,0	13,8	4,2	4,4	14,0	3,7
Май	14,2	12,9	11,5	14,8	15,4	−0,9	10,6	12,0	21,0	20,3	8,6	9,5	20,8	10,3
Июнь	19,7	17,4	16,2	19,8	19,6	7,2	15,4	16,2	24,6	24,7	12,4	13,5	25,9	15,8
Июль	21,8	20,2	18,8	22,7	22,1	14,8	17,1	17,8	28,5	26,4	16,9	18,1	28,3	18,8
Август	19,8	19,1	16,5	20,8	20,8	9,8	10,9	16,9	24,6	25,3	19,1	20,6	26,2	17,8
Сентябрь	13,1	13,8	10,5	15,3	15,3	0,5	6,1	13,9	20,2	20,1	14,5	16,5	19,6	14,2
Октябрь	3,5	6,4	1,6	7,2	7,2	−2,6	0,0	8,8	13,0	12,5	7,1	9,3	10,7	8,4
Ноябрь	−6,9	−0,5	−6,2	−0,3	−0,3	−7,2	−5,4	2,7	0,5	4,0	−1,8	−0,5	3,8	1,3
Декабрь	−12,7	−4,9	−11,0	−5,6	−5,5	−12,0	−9,9	−2,6	−0,2	−2,7	−9,7	−9,6	−1,1	−4,0

## Приложение 4

### Повторяемость направлений ветра (проц.)

Вариант	Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	ШТИЛЬ
1	Январь	4	6	30	9	5	11	22	6	7
	Июль	10	7	11	7	6	8	26	16	9
2	Январь	2	4	26	7	7	13	24	8	9
	Июль	13	10	14	10	3	5	21	13	11
3	Январь	7	9	30	12	2	8	19	3	10
	Июль	17	14	15	14	1	1	26	9	3
4	Январь	19	16	20	8	3	2	19	9	4
	Июль	10	7	11	7	8	8	30	16	5
5	Январь	1	3	34	6	8	14	25	9	2
	Июль	3	3	10	12	30	22	5	8	7
6	Январь	7	9	38	14	1	9	8	4	10
	Июль	16	15	17	15	1	1	20	12	3
7	Январь	1	3	32	8	10	12	21	11	2
	Июль	2	3	9	13	21	24	5	15	7
8	Январь	3	7	23	16	5	11	20	8	7
	Июль	10	7	9	9	6	8	21	21	9
9	Январь	3	3	30	12	7	4	22	10	9
	Июль	2	2	10	12	28	24	5	8	7
10	Январь	2	4	26	7	5	15	22	10	9
	Июль	10	13	14	10	4	4	20	13	11
11	Январь	8	28	14	2	8	16	6	8	10
	Июль	16	15	15	14	1	1	24	11	3
12	Январь	17	18	20	8	3	2	19	9	4
	Июль	8	9	10	8	8	8	28	18	5
13	Январь	2	2	30	10	10	12	20	14	2
	Июль	3	3	11	11	28	24	5	8	7

# Приложение 5

## Таблица метеокода

ЦИФРА КОДА	N - ОБЩЕЕ КОЛ-ВО ОБЛАЧНОСТИ		N <sub>н</sub> - КОЛ-ВО ОБЛАКОВ С <sub>н</sub> ИЛИ С <sub>м</sub> В БАЛЛАХ (НА КАРТЕ ЦИФРОЙ КОДА)	W <sub>1</sub> W <sub>2</sub> - ПРОШЕДШАЯ ПОГОДА		h - ВЫСОТА ОБЛАКОВ С <sub>н</sub> ИЛИ С <sub>м</sub>		С <sub>н</sub> СЛОИСТО-КУЧЕВЫЕ, КУЧЕВЫЕ И КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫЕ	С <sub>м</sub> ВЫСОКО-КУЧЕВЫЕ, ВЫСОКО-СЛОИСТЫЕ И СЛОИСТО-ДОЖДЕВЫЕ	С <sub>п</sub> ПЕРИСТЫЕ, ПЕРИСТО-СЛОИСТЫЕ И ПЕРИСТО-КУЧЕВЫЕ	a - ХАРАКТЕРИСТИКА БАРИЧЕСКОЙ ТЕНДЕНЦИИ		
	НА КАРТЕ	СЛЕДУЕТ ЧИТАТЬ В БАЛЛАХ		НА КАРТЕ	СЛЕДУЕТ ЧИТАТЬ	НА КАРТЕ (ЦИФРА КОДА)	СЛЕДУЕТ ЧИТАТЬ (В МЕТРАХ)				НА КАРТЕ	СЛЕДУЕТ ЧИТАТЬ	
0	○	0	0	○	Ясно или облачность не более 5 баллов	0	< 50	Облаков С <sub>н</sub> нет	Облаков С <sub>м</sub> нет	Облаков С <sub>п</sub> нет	↗	Рост, затем падение	ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ
1	◐	1	1	◐	Меняющаяся облачность	1	50	Кучевые (С <sub>н</sub> ) плоские	← Высоко-слоистые (As) просветляющие	→ Перистые (С <sub>п</sub> ) волок- нистые, разрозненные количество их не увеличивается	↗	Рост, затем равный ход	
2	◑	2-3	2-3	●	Облачность более 5 баллов	2	100	Кучевые (С <sub>н</sub> ) средние или мощные	← Высоко-слоистые (As) плотные или слоисто- дождевые (Ns)	→ Перистые (С <sub>п</sub> ) плотные или хлопьевидные	↗	Равномерный или неровный рост	
3	◑	4	4	☂	Песчаная буря, низовая метель или поземок	3	200	Кучево-дождевые (С <sub>н</sub> ) „листые“	☼ Высоко-кучевые (Ac) просветляющие, не изменяющиеся	→ Перистые (С <sub>п</sub> ) плотные из кучево-дождевых	✓	Падение, затем рост	
4	◑	5	5	≡	Туман или сильная мгла	4	300	Слоисто-кучевые (Sc) из кучевых или кучево- дождевых	☼ Высоко-кучевые (Ac) чечевицеобразные	→ Перистые (С <sub>п</sub> ) во- локнистые, количест- во их увеличивается	—	Ровный ход	
5	◑	6	6	,	Морось	5	600	Слоисто-кучевые (Sc) не из кучевых или кучево- дождевых	☼ Высоко-кучевые (Ac), распространяющиеся по небу	→ Перисто-слоистые (Cs) (иногда перистые (С <sub>п</sub> )), не выше 45° над гори- зонтом, надвигающиеся	✓	Падение, затем рост	ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ
6	◑	7-8	7-8	•	Дождь	6	1000	Слоистые (St) (кроме St плохой погоды)	☼ Высоко-кучевые (Ac) из кучевых или кучево-дождевых	→ Перисто-слоистые (Cs) (иногда перистые), выше 45° над гори- зонтом, надвигающиеся	↘	Падение, затем равный ход	
7	◑	9	9	*	Снег или дождь со снегом	7	1500	Разорванно-слоистые (St fr) или разорванно- кучевые (С <sub>н</sub> fr) плохой погоды	☼ Высоко-кучевые (Ac) вместе с высоко- слоистыми (С <sub>п</sub> ) или без них	→ Перисто-слоистые (Cs), покрывающие все небо	↘	Равномерное падении	
8	●	10	10	▽	Ливневые осадки	8	2000	Слоисто-кучевые (Sc) и кучевые (С <sub>н</sub> ) не из кучевых или кучево-дождевых	☼ Высоко-кучевые (Ac) башенкообразные или хлопьевидные	→ Перисто-слоистые (Cs), распространяющие- ся по небу	↘	Рост, затем падении	
9	⊗	Неба не видно	Не исполь- зуется	⊗	Гроза	9	≥ 2000	Кучево-дождевые (С <sub>н</sub> ) „волосатые“	☼ Высоко-кучевые (Ac) при хаотическом виде неба	→ Перисто-кучевые (Сс)	—	Не используется	

## Приложение 6

Средняя декадная температура воздуха и сумма осадков за декаду

Вариант	Месяц	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	Декада	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Средняя декадная температура, С	10,3	12,3	14,3	15,9	16,8	17,7	18,4	19,0	19,0	18,3	17,4	16,0	13,5	11,0	8,5
	Сумма осадков за декаду, мм	17,0	18,0	19,0	18,0	18,0	18,0	23,0	22,0	21,0	19,0	18,0	18,0	18,5	18,9	17,6
2	Средняя декадная температура, С	10,6	13,1	15,1	16,5	17,6	18,4	19,1	19,6	19,5	18,8	17,9	16,7	14,1	11,6	9,0
	Сумма осадков за декаду, мм	17,7	4,3	9,6	17,1	64,4	30,1	84,7	21,1	19,7	5,8	74,7	27,7	22,2	18,8	15,6
3	Средняя декадная температура, С	10,6	12,9	14,6	16,1	17,2	18,2	18,9	19,4	19,4	18,6	17,7	16,2	13,8	11,2	8,6
	Сумма осадков за декаду, мм	2,2	21,1	25,4	18,3	36,5	6,7	58,4	47,8	64,5	8,0	14,2	11,6	18,2	18,2	15,3
4	Средняя декадная температура, С	11,3	13,5	15,2	16,6	17,7	18,7	19,4	19,8	19,8	19,3	18,4	16,8	14,3	11,7	9,2
	Сумма осадков за декаду, мм	10,0	26,0	33,0	26,0	57,0	31,0	10,0	3,0	22,0	24,0	12,0	3,0	22,0	18,6	16,3
5	Средняя декадная температура, С	10,8	13,4	15,2	16,6	17,6	18,5	19,3	19,7	19,7	19,0	18,1	16,7	14,3	11,6	9,0
	Сумма осадков за декаду, мм	42,5	0,6	0,9	1,2	15,1	34,1	65,6	17,7	12,7	16,9	1,2	6,5	12,1	12,3	13,3
6	Средняя декадная температура, С	10,3	12,3	14,3	15,9	16,8	17,7	18,4	19,0	19,0	18,3	17,4	16,0	13,5	11,0	8,5
	Сумма осадков за декаду, мм	21,4	17,1	30,3	10,6	25,4	59,4	32,5	28,0	34,6	13,4	1,2	12,8	13,0	12,3	15,0

## Окончание приложения 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	Средняя декадная температура, С	10,6	13,1	15,1	16,5	17,6	18,4	19,1	19,6	19,5	18,8	17,9	16,7	14,1	11,6	9,0
	Сумма осадков за декаду, мм	0,3	23,8	56,5	3,3	25,7	28,6	31,1	3,8	43,5	20,8	3,6	56,4	17,5	18,9	14,6
8	Средняя декадная температура, С	10,6	12,9	14,6	16,1	17,2	18,2	18,9	19,4	19,4	18,6	17,7	16,2	13,8	11,2	8,6
	Сумма осадков за декаду, мм	10,6	12,9	14,6	16,1	17,2	18,2	18,9	19,4	19,4	18,6	17,7	16,2	13,8	11,2	8,6
9	Средняя декадная температура, С	10,0	12,9	14,6	16,0	17,2	18,2	18,9	20,0	19,4	18,6	17,7	15,92	13,8	11,0	8,6
	Сумма осадков за декаду, мм	21,4	17,1	30,3	10,6	25,4	59,4	32,5	28,0	34,6	13,4	1,2	12,8	13,0	12,3	15,0
10	Средняя декадная температура, С	10,8	13,9	15,2	16,6	18,0	18,5	19,0	19,7	20,0	19,0	18,0	16,7	14,3	11,6	7,9
	Сумма осадков за декаду, мм	17,7	4,3	9,6	17,1	64,4	30,1	84,7	21,1	19,7	5,8	74,7	27,7	22,2	18,8	15,6
11	Средняя декадная температура, С	10,5	13,8	15,0	16,6	18,0	18,5	19,0	19,7	20,0	19,0	18,1	16,7	14,2	11,3	9,0
	Сумма осадков за декаду, мм	25,2	15,4	17,8	12,2	12,0	11,0	10,0	1,2	15,3	12,3	12,0	15,6	21,0	32,0	10,0
12	Средняя декадная температура, С	10,8	13,8	15,2	16,9	18,0	18,9	19,0	19,7	20,0	19,0	17,9	16,6	14,0	11,6	8,0
	Сумма осадков за декаду, мм	22,0	15,6	18,8	14,2	0,3	15,6	14,0	10,0	10,0	15,2	12,0	0,3	0,6	19,0	22,0
13	Средняя декадная температура, С	10,2	14,0	15,2	16,6	17,8	18,5	19,0	19,7	20,0	19,0	18,0	16,7	14,3	11,0	9,0
	Сумма осадков за декаду, мм	21,4	17,1	30,3	10,6	25,4	59,4	32,5	28,0	34,6	13,4	1,2	12,8	13,0	12,3	15,0

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Причиной «парникового эффекта» является...

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| А. Поднятие воды в Мировом океане | В. Уменьшение в стратосфере озона         |
| Б. Накопление в атмосфере фреонов | Г. Увеличение содержания углекислого газа |

2. Последствие «парникового эффекта»

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| А. Увеличение скорости ветров на Земле | Б. Увеличение уровня Мирового океана |
|  | В. Уменьшение давления               |

3. Озоновый слой разрушается в связи с накоплением в атмосфере:

- А. Хлорфторуглеродов
- Б. Углекислого газа
- В. Двуокиси серы
- Г. Окислов азота

4. Солнечной инсоляцией называют \_\_\_\_\_.

5. Рассеянной радиацией называют \_\_\_\_\_.

6. Альбедо называют \_\_\_\_\_.

7. Радиационный баланс представляет собой \_\_\_\_\_.

8. Единицы измерения солнечной радиации \_\_\_\_\_.

9. Спектром называют \_\_\_\_\_.

10. Напишите процентный состав сухого воздуха у поверхности Земли \_\_\_\_\_.

11. Состав сухого воздуха с высотой...

- |                  |                                   |
|------------------|-----------------------------------|
| А. Изменяется    | В. Не изменяется до больших высот |
| Б. Не изменяется |                                   |

12. Давление воздуха с высотой

- |           |                  |
|-----------|------------------|
| А. Растет | В. Не изменяется |
| Б. Падает |                  |

13. Прибор для измерения атмосферного давления

- |               |              |
|---------------|--------------|
| А. Анемометр  | В. Барометр  |
| Б. Психрометр | Г. Гигрометр |

14. Прибор для непрерывной регистрации температуры воздуха

- |              |              |
|--------------|--------------|
| А. Термометр | В. Термостат |
| Б. Термограф | Г. Гигрограф |



15. Рост температуры с высотой называется \_\_\_\_\_.
16. Солнечная инсоляция – это \_\_\_\_\_.
17. К фотосинтетически активной радиации относятся волны длиной...
- А. От 290 до 390 нм                      В. От 430 до 700 нм  
Б. От 390 до 430 нм                      Г. От 380 до 710 нм
18. Прямую солнечную радиацию измеряют...
- А. Альбедометром                      В. Пиранометром  
Б. Актинометром                      Г. Гальванометром
19. Отношение отраженной радиации к суммарной называется \_\_\_\_\_.
20. Разница между тепловым излучением Земли и длинноволновым излучением атмосферы называется \_\_\_\_\_.
21. Температурная инверсия – это ...
- А. Уменьшение температуры с увеличением высоты                      В. Постоянство температуры с изменением высоты  
Б. Возрастание температуры с увеличением высоты
22. В Пензенской области годовая амплитуда температуры воздуха составляет ...
- А. 55,0 °С                      В. 31,8 °С  
Б. 21,2 °С                      Г. 48,7 °С
23. Разность между температурами самого теплого и самого холодного месяца называется \_\_\_\_\_.
24. Кратковременное ночное понижение температуры на фоне устойчивых положительных температур называется \_\_\_\_\_.
25. Водяной пар поступает в атмосферу в результате...
- А. Насыщения                      В. Конденсации  
Б. Испарения                      Г. Сублимации
26. Для непрерывной регистрации относительной влажности используется...
- А. Психрометр                      В. Гигрограф  
Б. Гигрометр                      Г. Плувиограф
27. Конденсация – это ...
- А. Переход водяного пара в жидкое состояние                      В. Переход из твердого состояния в газообразное  
Б. Переход водяного пара в твердое состояние

28. Прибор для измерения скорости ветра ...  
 А. Анемометр В. Актинометр  
 Б. Флюгер Г. Гальванометр
29. Сухой, холодный ветер, срывающийся с возвышенности на водную поверхность...  
 А. Фён В. Бора  
 Б. Бриз
30. С поступлением какой воздушной массы связаны адвективные заморозки?  
 А. Арктической В. Тропической  
 Б. Умеренной
31. Климатический пояс, в котором расположена Пензенская область...  
 А. Субарктический В. Субтропический  
 Б. Умеренный Г. Арктический
32. Озоновый слой разрушается в связи с поступлением в атмосферу...  
 А. Хлорфторуглеродов В. Двуокиси серы  
 Б. Углекислого газа Г. Окислов азота
33. Нормальное атмосферное давление составляет...  
 А. 760 мм рт. ст. В. 770 мм рт. ст.  
 Б. 750 мм рт. ст. Г. 740 мм рт. ст.
34. Солнечная радиация, проходя сквозь толщу атмосферы, ...  
 А. Поглощается В. Отражается  
 Б. Рассеивается Г. Поглощается и рассеивается
35. Максимум температуры воздуха по отношению к максимуму температуры поверхности почвы...  
 А. Запаздывает В. Наступает одновременно  
 Б. Наступает раньше
36. Амплитуда суточных и годовых колебаний температуры больше...  
 А. В воздухе В. В воде  
 Б. На поверхности почвы Г. Амплитуды везде одинаковы
37. Единицы измерения относительной влажности  
 А. Градусы В. Гектопаскали  
 Б. Проценты Г. Кельвины
38. Осадки выпадают...  
 А. Из кристаллических облаков В. Из смешанных облаков  
 Б. Из капельных облаков Г. Из всех облаков

39. Сублимацией называется \_\_\_\_\_.
40. Условия начала конденсации водяного пара \_\_\_\_\_.
41. Уровнем конденсации называется...
- |   |   |
|---|---|
| А. Температура, при которой начинается конденсация водяного пара                                    | В. Высота, на которой водяной пар при адиабатическом подъеме влажного воздуха достигает состояния насыщения |
| Б. Высота, с которой температура водяного пара при адиабатическом подъеме начинает резко возрастать | Г. Высота, на которую нужно поднять или опустить объем воздуха, чтобы началась конденсация водяного пара    |
42. За направление ветра принимается...
- |                      |  |
|----------------------|--|
| А. Откуда дует ветер | В. Направление не определяется этими факторами |
| Б. Куда дует ветер   |  |
43. Ветер побережий – это ...
- |         |          |
|---------|----------|
| А. Фён  | В. Бризы |
| Б. Бора |          |
44. В составе тропосферного воздуха преобладает...
- |                   |          |
|-------------------|----------|
| А. Кислород       | В. Азот  |
| Б. Углекислый газ | Г. Метан |
45. Верхним пятым слоем атмосферы является...
- |                |               |
|----------------|---------------|
| А. Стратосфера | В. Термосфера |
| Б. Экзосфера   | Г. Тропосфера |
46. Губительное ультрафиолетовое излучение поглощает ...
- |                |             |
|----------------|-------------|
| А. Водяной пар | В. Кислород |
| Б. Озон        | В. Водород  |
47. Значение солнечной постоянной для Земли равно
- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| А. $935 \text{ мВт/см}^2$ | В. $140 \text{ мВт/см}^2$ |
| Б. $265 \text{ мВт/см}^2$ | Г. $102 \text{ мВт/см}^2$ |
48. Точкой росы называется \_\_\_\_\_.
49. Максимум в суточном ходе абсолютной влажности наблюдается...
- |                  |                |
|------------------|----------------|
| А. В 13–14 часов | В. В полночь   |
| Б. В 20–21 час   | Г. В 5–6 часов |
50. Продукты конденсации называются \_\_\_\_\_.
51. Скорость испарения зависит от \_\_\_\_\_.

52. Максимум испарения в суточном ходе наблюдается

---

53. Местные ветра, явившиеся результатом механического возмущения воздушных течений, вызванных рельефом местности – это ...

А. Бора

В. Пассаты

Б. Горно-долинные

54. Ветер возникает под действием...

А. Центробежной силы

В. Силы трения

Б. Силы Кориолиса

Г. Всех перечисленных сил

55. На территории Пензенской области представлен тип климата...

А. Зона климата тайги

В. Зона климата степей

Б. Зона климата лиственных лесов

Г. Зона климата тропических пустынь

56. Приборы, используемые для измерения атмосферного давления, ...

А. Барометр анероид, барограф, барометр ртутный

В. Барограф, альбедометр, барометр ртутный

Б. Барометр ртутный, анемометр ручной, барограф

57. Приборы, при помощи которых измеряется солнечная радиация – это ...

А. Термометр, альбедометр, пиранометр

В. Гальванометр, пиранометр, анемометр

Б. Гальванометр, альбедометр, пиранометр

58. Величины, характеризующие ветер – это ...

А. Порывистость, скорость, давление

В. Влажность, направление, скорость

Б. Скорость, порывистость, направление

59. Климатические зоны на территории России\_\_\_\_\_.

60. По классификации этого ученого выделено 12 типов климата...

А. Л.С. Берг

В. М.И. Будыко

Б. Б.П. Алисов

Г. А.И. Воейков

61. Климатический пояс, в котором расположена Пензенская область...

А. Субарктический

В. Субтропический

Б. Умеренный

Г. Арктический

63. К климатообразующим факторам не относится...

А. Высота над уровнем  
моря

В. Приход солнечной  
радиации

Б. Общая циркуляция  
атмосферы

Г. Контраст температур  
между полюсом и экватором

Александр Петрович Дужников  
Екатерина Владимировна Павликова

## **АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ**

Учебное пособие для студентов технологического факультета,  
обучающихся по направлению подготовки 35.03.07 – Технология  
производства и переработки сельскохозяйственной продукции  
(квалификация – бакалавр)

Компьютерная верстка  
Корректор

Е.В. Павликовой  
Л.А. Артамонова

---

Сдано в производство	Формат 60×84 1/16
Бумага	Усл. печ. л.
Тираж 50 экз.	Заказ №

---

РИО ПГСХА  
440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30