

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ РОСГИДРОМЕТА

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МОСКОВСКАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА  
(Калужский филиал)

**И. Г. ГРИНГОФ, З. С. ФЕДОРОВА, А. И. БЕЛОЛЮБЦЕВ, С. Д. МАЛАХОВА**

# **ПРАКТИКУМ ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ**

**Часть I**

## **МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ**

**Часть II**

## **АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ**

*Рекомендовано Научно-методическим советом по сельскому хозяйству для использования в учебном процессе в качестве учебного пособия, содержащего сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров по направлениям 35.03.04 Агротомия, 35.03.05 Садоводство.*

Под редакцией  
доктора географических наук, профессора,  
почётного работника высшего профессионального образования,  
заслуженного метеоролога Российской Федерации  
Г. Н. Чичасова

Обнинск  
2018

УДК 63/551.5(075)  
ББК 40.2

**И. Г. Грингоф, З. С. Федорова, А. И. Белолюбцев, С. Д. Малахова.** Практикум по агрометеорологии. Часть I. Метеорологические измерения и наблюдения. Часть II. Агрометеорологические наблюдения и измерения. **Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2018. 384 с.**

**ISBN 978-5-901579-79-4**

*Рецензенты:*

**Б. Г. Шерстюков** – доктор географических наук, заведующий лабораторией последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

**М. А. Мазиров** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и методики опытного дела ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева.

Учебное пособие включает введение и две части (часть I «Метеорологические измерения и наблюдения» и часть II «Агрометеорологические наблюдения и измерения»), в которых студенты обучаются проведению измерений и наблюдений, выполняют практические задания по основным вопросам дисциплины. В учебном пособии после каждого раздела приведены контрольные вопросы и задания. В конце учебного пособия имеются приложения, список сокращений, рекомендуемая литература.

ISBN 978-5-901579-79-4



© Грингоф И. Г., Федорова З. С.,  
Белолюбцев А. И., Малахова С. Д., 2018

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Важным разделом в подготовке студентов-агрономов к самостоятельной работе являются практические, лабораторные занятия и учебная практика по агрометеорологии.

Состояние атмосферы и происходящие в ней процессы оказывают большое влияние на все области деятельности людей и их повседневную жизнь. Особенно велико влияние погодных и климатических условий на сельскохозяйственное производство, справедливо называемое «цехом под открытым небом». Поэтому необходимым звеном в этом обучении признано получение студентами практических знаний и навыков в проведении метеорологических измерений и наблюдений на учебных метеорологических площадках.

Практикум по агрометеорологии состоит из двух частей. В части I «Метеорологические измерения и наблюдения» приведены основные положения организации типовых метеорологических станций и постов, размещения на них средств измерений (приборов и их комплексов), даны описания метеорологических приборов и принципы их действия, методы измерения важнейших метеорологических параметров (солнечной радиации, температуры почвы и воздуха, осадков, испарения, ветра), описана классификация облаков и характеристика их основных типов и форм, изложены правила проведения визуальных наблюдений за облаками.

Агрономы должны не только грамотно пользоваться официальной информацией о погоде и её прогнозах, выпускаемых прогнозическими центрами страны Гидрометеорологической службы России, но и уметь самостоятельно оценивать текущие погодные условия. Для этого необходимо знать местные признаки изменения погоды для своевременного принятия оперативно-хозяйственных решений в растениеводстве. Обобщённые признаки изменения погоды, характерные для природных условий средней полосы европейской части России, приведены в качестве отдельного параграфа в главе «Облака и погода».

Часть II «Агрометеорологические наблюдения и измерения» посвящена вопросам практического усвоения агрометеорологических знаний – организации и производству агрометеорологических наблюдений и измерений на сельскохозяйственных угодьях. К ним относятся: выбор, организация и описание полевых агрометеорологических наблюдательных участков, проведение измерений влажности корнеобитаемых горизонтов почвы, определения и расчёты важнейших водно-физических (агрогидрологических) свойств почвы, правила и методы наблюдений за ростом, развитием, состоянием и формированием продуктивности посевов, за условиями перезимовки озимых и плодово-ягодных культур. Агроном должен владеть методами проведения систематических наблюдений за циклами сезонного развития природы (фенология), знать основные фазы развития возделываемых культур, уметь составлять донесения о результатах агрометеорологических наблюдений и измерений.

Опасные погодные условия тёплого и холодного периодов года оказывают негативное влияние на рост, развитие и формирование урожайности возделываемых культур, особенно в районах неустойчивого по погодным условиям земледелия России. Знания критериев опасных для сельскохозяйственного производства явлений погоды и мер для смягчения их негативного воздействия на растения и животных обязательны для агрономов и руководителей сельскохозяйственных предприятий.

Умение организовывать и проводить микроклиматические съёмки (измерения) в различных условиях рельефа местности и в среде посевов раскрывает особенности среды обитания растений, способствует принятию оптимальных решений при планировании и размещению посевов на территории хозяйства с учётом микроклимата с целью получения максимальных урожаев высокого качества.

В Практикуме предложена типовая программа проведения микроклиматических измерений на посевах сельскохозяйственных культур и на полях в различных условиях рельефа. В заключительной главе сформулированы основные правила проведения учебной практики по агрометеорологии, даны задания по производству наблюдений, записям их результатов и примеры расчётов, составлены рекомендации по написанию «Характеристики агрометеорологических условий года» и составлению Отчёта об учебной практике с учётом раздела микроклиматических измерений.

В настоящее время в Российской Федерации действуют 23 специализированных агрометеорологических станции и около одной тысячи метеорологических станций, привлечённых к проведению



агрометеорологических наблюдений и измерений, работа которых регламентирована действующими Наставлениями и другими руководящими документами Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета).

Практикум разработан в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Агрометеорология» для подготовки бакалавров по направлению 35.03.04 «Агрономия» и 35.03.05 «Садоводство» Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (ФГОУ ВПО – МСХА имени К.А. Тимирязева), Калужский филиал.

Практикум написан доктором биологических наук, профессором, Заслуженным метеорологом РФ *И. Г. Грингофом*, главным научным сотрудником ФГБУ «ВНИИСХМ» Росгидромета; кандидатом сельскохозяйственных наук *Э. С. Федоровой*, доцентом кафедры агрономии Калужского филиала РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; доктором сельскохозяйственных наук, профессором *А. И. Белолубцевым*, заведующим кафедрой метеорологии и климатологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; кандидатом биологических наук, доцентом *С. Д. Малаховой*, деканом агрономического факультета Калужского филиала РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Авторы благодарны научному редактору Практикума – доктору географических наук, профессору, почётному работнику высшего профессионального образования, Заслуженному метеорологу РФ *Г. Н. Чичасову*, первому проректору – проректору по учебной и научной работе (ФГБОУ ДПО «ИПК»).

Авторы признательны также рецензентам – доктору географических наук *Б. Г. Шерстюкову*, заведующему лабораторией последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидромета (г. Обнинск) и доктору биологических наук, профессору *М. А. Мазирову*, заведующему кафедрой земледелия и методики опытного дела РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева за их замечания и предложения, направленные на улучшение содержания настоящего учебного пособия.

*Авторы*

## ЧАСТЬ I

# МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

---

## *Глава 1*

### ОРГАНИЗАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОСТОВ

Для успешного ведения хозяйственной деятельности в стране в различных отраслях экономики, и в частности в сельскохозяйственном производстве, необходима гидрометеорологическая и агрометеорологическая информация. Получение её обеспечивается метеорологическими и специализированными станциями и постами Росгидромета и Министерства сельского хозяйства. Работа на всех метеорологических станциях и постах ведётся по единым требованиям, выполняемым по единым методикам, одинаковыми приборами и идентичными формами записи результатов наблюдений, методам их первичной обработки. Все эти требования и методы регламентируются действующими наставлениями и другими видами руководящих документов (РД). Приземные гидрометеорологические наблюдения на станциях производятся с целью получения информации для:

- непосредственного обеспечения различных отраслей экономики, в том числе аграрного сектора страны, сведениями о метеорологических условиях в пункте наблюдений;
- оповещения обслуживаемых организаций о наступлении комплекса неблагоприятных и опасных погодных (природных) явлений, их интенсивности и продолжительности в пункте наблюдений;

- обеспечения прогностических органов службы необходимыми данными для составления всех видов прогнозов метеорологических (гидрометеорологических) и агрометеорологических условий и предупреждений об ожидаемых неблагоприятных явлениях;
- накопления и обобщения объективных данных о метеорологическом режиме и климате по территории района, области, республики и страны в целом.

Приземные метеорологические наблюдения представляют собой определение характеристик состояния и развития физических процессов в атмосфере при её взаимодействии с подстилающей поверхностью. Они включают измерения метеорологических величин, характеризующих эти процессы, и определение основных характеристик наиболее важных атмосферных явлений: начало, конец, продолжительность, интенсивность, уровень опасности для различных отраслей экономики. Наблюдения за большинством метеорологических величин проводятся на метеорологической площадке.

### **1.1. Устройство метеорологической площадки станции**

Метеорологическая площадка служит для установки приборов и оборудования, необходимых при производстве метеорологических наблюдений в приземном слое атмосферы. Метеорологическую площадку располагают на ровном открытом горизонтальном участке, типичном для района её размещения с тем, чтобы полученные данные наблюдений наиболее полно характеризовали окружающую территорию (рис. 1.1).

Согласно «Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 3. (1985) метеорологическая площадка станции должна иметь форму квадрата (26 × 26 м), одна сторона которого, как правило, ориентирована в направлении север – юг. В пунктах, не выполняющих наблюдения за температурой почвы на глубинах под естественным покровом, а также в условиях особого местоположения, когда невозможно увеличить размеры площадки до стандартных, разрешается уменьшение площадки до размера 20 × 16 м.

При размещении на метеорологической площадке приборов и установок, не предусмотренных программой метеорологических наблюдений, размеры площадки должны быть увеличены в соответствии с требованием об исключении влияния этих установок на результаты измерений основных метеорологических величин. Метеорологическая площадка станции, ведущей



*Рис. 1.1. Общий вид метеорологической площадки в городе*

актинометрические наблюдения, может иметь размеры  $26 \times 36$  м (длинными сторонами ориентируется с севера на юг). Участок, отведённый для метеорологической площадки, должен быть огорожен для сохранения естественной поверхности площадки, а также для сохранности установленного на ней оборудования. Ограда должна обеспечивать хорошую естественную вентиляцию любого места на площадке, а зимой не способствовать образованию сугробов. Рекомендуется стандартная ограда из проволочной сетки с ячейками размером  $10 \times 10$  см, натянутой на металлические рамы. Рамы укрепляются на металлических трубах либо железобетонных или деревянных столбах высотой  $1,2 - 1,5$  м над поверхностью земли. Приборы на метеорологической площадке устанавливают в определённом порядке (рис. 1.2), чтобы они не затеняли друг друга и не препятствовали свободному обмену воздуха.

С северной стороны площадки располагают более высокие установки: флюгер с легкой доской или анеморумбометр, флюгер с тяжелой доской и гололёдный станок. В виде исключения на некоторых метеорологических станциях флюгер устанавливают на крыше здания. В средней части – плювиограф, осадкомер, столб для теодолита и гелиограф. В южной части площадки выделяют участки: с оголённой почвой для установки напочвенных и коленчатых термометров и с естественным покровом для установки вытяжных термометров, мерзлотомера и снегомерную рейку. Актинометрические приборы устанавливают также в южной части площадки. Все другие

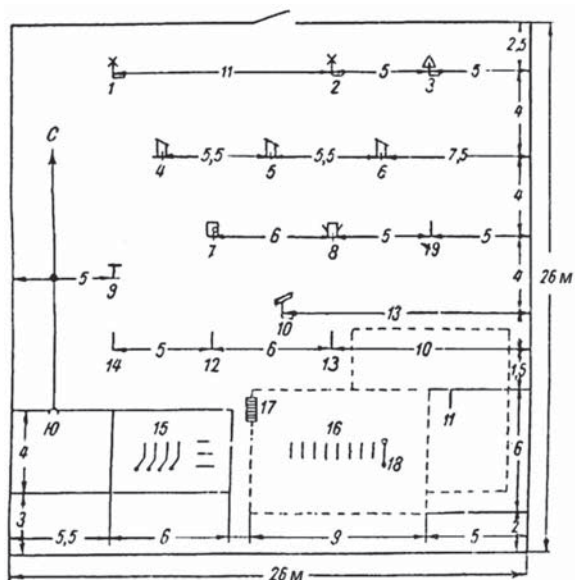


Рис. 1.2. Схематический план метеорологической площадки:

- 1 – флюгер с лёгкой доской; 2 – флюгер с тяжёлой доской или анеморумбометр; 3 – гололёдный станок; 4 – будка для самописцев;
- 5 – будка психрометрическая; 6 – будка запасная; 7 – пьювиограф;
- 8 – осадкомер; 9 – столб для теодолита; 10 – гелиограф;
- 11 – 14 – столбы для установки актинометрических приборов;
- 15 – оголённый участок для установки напочвенных и коленчатых термометров;
- 16 – участок с естественным покровом для установки вытяжных термометров;
- 17 – снегомерная рейка; 18 – мерзлотомер.

приборы и установки размещают на свободных местах, предпочтительно на северной стороне площадки. Для дистанционных приборов в служебном помещении устанавливаются пульта управления.

С целью сохранения естественного покрова на метеорологической площадке хождение допускается по дорожкам шириной 40–50 см. Их прокладывают так, чтобы наблюдатель мог подходить к приборам с северной стороны и затрачивать меньше времени на переходы от одной установки к другой. Зимой при равномерном залегании снежного покрова дорожки не рекомендуются очищать от снега. Зимой здесь устанавливают снегомерные рейки. Аспирационный психрометр закрепляют на столбе возле будки (рис. 1.2). Атмосферное давление измеряют в служебных помещениях метеорологических станций.

Летом высота растительного покрова на площадке не должна превышать 20 см. Скошенную траву надо немедленно убрать с площадки. Метеорологическая площадка должна располагаться по возможности недалеко от служебного помещения станции (не далее 150 м) и быть под постоянным контролем дежурных наблюдателей. Там же устанавливают измерительные пульта дистанционных приборов. Термометры для измерения температуры поверхности почвы и пахотного слоя размещают на оголённом участке. Для обеспечения сравнимости и однородности результатов измерений на метеорологических площадках необходимо строго соблюдать сроки и порядок наблюдений, регламентируемых действующим Наставлением.

## **1.2. Сроки и программа производства метеорологических наблюдений на станции**

Приземные метеорологические наблюдения на станциях, входящих в Государственную систему наблюдений и контроля природной среды (ГСКП), производятся по всей территории одновременно (синхронно) в сроки 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч московского времени. Наблюдения за интенсивностью и развитием атмосферных процессов и явлений производятся непрерывно. Наблюдения за неблагоприятными и опасными атмосферными явлениями производятся в соответствии с действующими руководящими документами (РД).

Результаты наблюдений за эти так называемые синоптические сроки записываются в специальные метеорологические книжки и немедленно передаются средствами связи в центры Гидрометеорологической службы, где по ним составляются синоптические карты и другие материалы, используемые для прогнозирования погоды.

На метеорологических станциях основного типа регистрируют следующие метеорологические величины:

- температура воздуха (°С) на высоте 2 м над земной поверхностью;
- влажность воздуха – парциальное давление водяного пара в воздухе (гПа) и относительная влажность (%) на высоте 2 м;
- атмосферное давление (гПа);
- ветер – горизонтальное движение воздуха на высоте 10–12 м над земной поверхностью; измеряется его скорость (м/с) и определяется его направление в румбах;
- количество атмосферных осадков (мм), их типы (дождь, морось, снег, град и др.);

- облачность – степень покрытия неба облаками (баллы), формы облаков по Международной классификации, высота нижней границы облаков (м), ближайших к земной поверхности;
- наличие и интенсивность различных осадков, образующихся на земной поверхности и на предметах: росы (мм), иней, гололёд (см) и др.;
- горизонтальная дальность видимости – расстояние (м), на котором перестают различаться очертания выбранных и зафиксированных на схеме объектов;
- продолжительность солнечного сияния (ч);
- температура на поверхности почвы и на измеряемых глубинах в почве (°С);
- состояние поверхности почвы (визуально, словами согласно РД);
- степень покрытия (%), высота (см) и плотность снежного покрова (г/см<sup>3</sup>).

Регистрируются также метеорологические и оптические явления: метели, туман, дымка, мгла, шквалы, смерчи, пыльные бури, грозы, электрические разряды, полярные сияния, радуга, круги и венцы вокруг дисков светил, миражи и др.

Во все сроки измеряют температуру воздуха и почвы, влажность воздуха, скорость ветра и его направление, метеорологическую дальность видимости, атмосферное давление, определяют характеристики облачности. Другие величины, не имеющие хорошо выраженного суточного хода, определяют не во все сроки и даже не между сроками. Так, состояние поверхности почвы определяют два раза в сутки в сроки, ближайšie к 8 и 20 ч времени пояса, в котором расположена станция.

Осадки измеряют четыре раза в сутки: в 03, в 15 ч по Московскому времени и в сроки, близкие к 08 и 20 ч времени данного пояса. Высоту снежного покрова, глубину промерзания почвы измеряют один раз в утренний срок, ближайший к 08 ч времени данного пояса.

Снегомерные съёмки производят один раз в 10 дней, а весной – перед началом и в период таяния снега – один раз в 5 дней. Испарение измеряют один раз в 5 дней. Ленты термографа, гигрографа, барографа меняют в срок, ближайший к 13 ч, а пювиографа – к 20 ч времени данного пояса.

За начало суток на каждой станции принимают единый срок, ближайший к 20 ч, а за первый срок наблюдений – срок, ближайший к 23 ч времени данного пояса. Так как произвести измерения одновременно всеми приборами точно в срок наблюдений нельзя, принято при восьмисрочных наблюдениях температуру и

влажность воздуха измерять за 10 мин, а давление воздуха – за 2 мин до срочного часа. Все остальные измерения начинают за 30 мин до срока и заканчивают после срока. Общая продолжительность наблюдений составляет 30 – 40 мин.

Работа метеостанции заключается не только в проведении регулярных инструментальных наблюдений по установленным программам, но и в первичной обработке результатов наблюдений. За каждый месяц на станции составляются сводные таблицы метеонаблюдений. Месячные таблицы, обработанные ленты самопишущих приборов и наблюдательские книжки отсылаются для контрольной проверки на кустовую станцию или в Гидрометеорологическое бюро, в ЦГМС, к которой прикреплена эта станция.

### **1.3. Устройство метеорологической площадки поста**

При выборе места для метеорологической площадки метеорологического поста придерживаются всех требований, предъявляемых к таковой для метеорологической станции. Приземные метеорологические наблюдения на постах включают измерение отдельных метеорологических величин и их характеристик, описывающих состояние и развитие физических процессов в атмосфере, а также определение наблюдаемых атмосферных явлений. На постах все наблюдения проводятся по методикам, аналогично применяемым на метеорологических станциях с целями, описанными для метеорологических станций.

Метеорологический пост должен быть обеспечен необходимыми стандартными средствами измерения в соответствии с программой наблюдений, а также соответствующими нормативными документами (РД), а также действующими указаниями УГМС, ЦГМС по организации наблюдений за опасными явлениями (ОЯ) и передаче штормовой информации; полевыми книжкам и таблицами для записей результатов измерений (наблюдений) и их первичной обработки.

Для записей результатов метеорологических наблюдений пост должен быть обеспечен специальными таблицами и книжками:

- таблицей ТМ-8 для записи метеорологических наблюдений;
- книжкой КМ-5 для записи результатов снегосъёмок;
- книжкой КМ-4 для записи наблюдений за гололёдно-изморозевыми отложениями;
- таблицей ТМ-8В для записи выводов за месяц.



Наблюдатель поста работает под руководством начальника метеорологической станции, к которой прикреплен пост. Объем метеорологических наблюдений на каждом посту регламентируется его разрядом, устанавливаемым УГМС в соответствии с действующим Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам.

Метеорологическая площадка поста должна иметь форму квадрата размером  $12 \times 12$  м для установки средств измерения метеорологических величин. Принципы организации метеоплощадки поста такие же, как и метеоплощадки станции. Приборы размещают в строго определённом порядке с сохранением специально проложенных тропинок шириной не более 40 см для наблюдателя. Рекомендуется стандартная ограда площадки высотой (от поверхности земли) 1,2–1,5 м из проволочной сетки с ячейками  $10 \times 10$  см, которая должна обеспечивать хорошую продуваемость площадки и в зимнее время исключать возможность накопления снежных сугробов у площадки (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Общий вид метеорологической площадки поста

На площадке с полным объемом наблюдений размещаются (рис. 1.4): 1 – флюгер с тяжёлой доской; 2 – гололёдный станок; 3 – будка Селянинова; 4 – осадкомер; 5 – площадка для измерения температуры почвы (на агрометеорологических постах); 6 –  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  – места для установки снегомерных реек;  $P'_1$ ,  $P'_2$ ,  $P'_3$  – второй вариант выбора мест для установки снегомерных реек.

В будке Селянинова, представляющей упрощённый вариант стандартной психрометрической будки на станциях, на специальном штативе размещены срочный, минимальный и максимальный

термометры. Приборы защищены жалюзийными стенками от непосредственного нагревания солнечными лучами, от осадков и сильных порывов ветра (рис. 1.5).

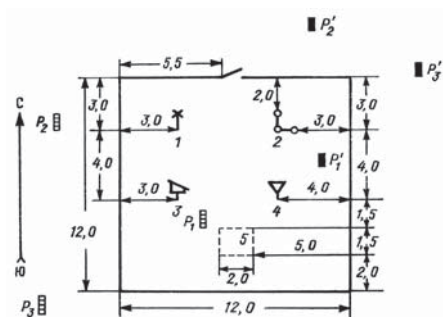


Рис. 1.4. Схематический план размещения приборов и установок на метеорологической площадке поста с полным объёмом наблюдений (пояснения в тексте)

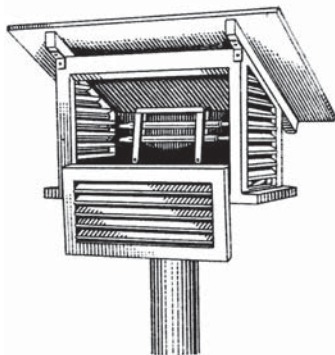


Рис. 1.5. Общий вид будки Селянинова с открытой дверцей для снятия показаний термометров

Термометры в будке устанавливаются горизонтально, резервуарами на восток, при этом срочный термометр устанавливается так, чтобы резервуар находился на высоте 1,5 м от поверхности земли. Минимальный термометр кладется в средние гнёзда штатива, а максимальный термометр – в верхние гнёзда штатива с небольшим наклоном в сторону резервуара.

#### 1.4. Сроки и программа производства метеорологических наблюдений на посту

Метеорологические измерения (наблюдения) на постах проводятся в два срока: утренний и вечерний. Утренний срок является ближайшим к 8 ч поясного (зимнего) времени, вечерний – ближайший к 20 ч. Под сроком наблюдения подразумевается 10-минутный интервал времени, заканчивающийся точно в указанный час. Например, под сроком 20 ч понимается интервал времени от 19 ч 50 мин до 20 ч 00 мин.

В утренний и вечерний сроки наблюдений, а также днём между этими сроками проводятся наблюдения за атмосферными явлениями. В зимние месяцы, в срок, ближайший к 8 ч поясного

(зимнего) времени, производится измерение высоты снежного покрова по постоянным рейкам и определение характеристик снежного покрова на постоянном наблюдательном участке. Один раз в 5 (10, 30) суток по указанию УГМС проводится снегосъёмка на закреплённых маршрутах.

В летние месяцы по указанию УГМС проводятся дополнительные наблюдения (измерения) в срок, ближайший к 20 ч поясного (зимнего) времени максимальной и минимальной температуры воздуха. Кроме того, проводят дополнительные наблюдения в сроки, ближайшие к 8 и 20 ч:

- за направлением и скоростью ветра;
- количеством облаков;
- метеорологической дальностью видимости;
- интенсивностью жидких осадков;
- атмосферными явлениями, не входящими в основную программу.

Ежедневно во все сроки наблюдений измеряют и записывают количество выпавших осадков, температуру воздуха, его максимальные и минимальные значения. Кроме этого, между сроками наблюдатель отмечает направление и скорость ветра по флюгеру, глазомерно оцениваемую дальность видимости, состояние атмосферы, количество облаков в баллах. В зимний период проводят дополнительные наблюдения за гололёдно-изморозевыми отложениями.

**Наблюдения за атмосферными явлениями.** Наблюдатель должен определить вид атмосферного явления, записать его, а также время суток его возникновения: день – Д, ночь – Н или НД, если явления наблюдалось в течение суток, независимо от его продолжительности. К числу атмосферных явлений относятся: осадки, выпадающие на поверхность земли: дождь, град, снег, мокрый снег; осадки, образующиеся на поверхности земли и наземных предметах: гололёд, изморозь; явления, образующиеся в приземном слое воздуха и в тропосфере: туман, дымка, метель, смерч, мгла, гроза, шквал, пыльная буря.

Перечисленные явления определяются наблюдателем визуально в соответствии с их признаками. Описания (краткие характеристики) и символ каждого из этих явлений приведены в «Наставлении», вып. 2, часть 1. Список наблюдаемых атмосферных явлений на посту определяется начальником метеорологической станции, к которой относится пост.

**Наблюдения за осадками.** Распределение осадков по территории, особенно в тёплый период года, характеризуется большой

неравномерностью. Поэтому наблюдения за осадками на метеорологических площадках постов позволяют дополнить информацию метеорологических станций об увлажнении той или иной территории. Особенно ценны дополнительные пункты наблюдения на сельскохозяйственных полях, осуществляемые наблюдателем метеорологического поста с помощью полевого дождемера М-99 (дождемера Давитая). Этот переносной дождемер описан в главе 8, раздел 8.2.

**Наблюдения за снежным покровом.** Процесс наблюдения заключается в определении следующих параметров:

- высоты снежного покрова (см) по снегомерным рейкам;
- плотности снега ( $\text{г/см}^3$ ) весовым снегомером (см. глава 8, раздел 8.3);
- запаса воды в снеге (мм);
- степени покрытия снегом видимых окрестностей поста, визуально, в баллах, при этом вся окрестность, покрытая снегом, составляет 10 баллов, каждая 0,1 часть окрестности – 1 балл (рис. 1.6 и 1.7).

Основные требования к записи метеорологических измерений и наблюдений, а также первичная их обработка полностью соответствуют выполняемым работам на сети метеорологических станций. Они определяются и регламентируются действующим «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 2, часть 1. «Метеорологические наблюдения на постах».

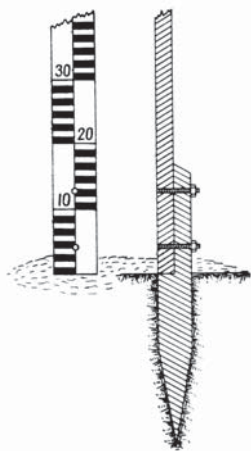


Рис. 1.6. Крепление стационарной снегомерной рейки

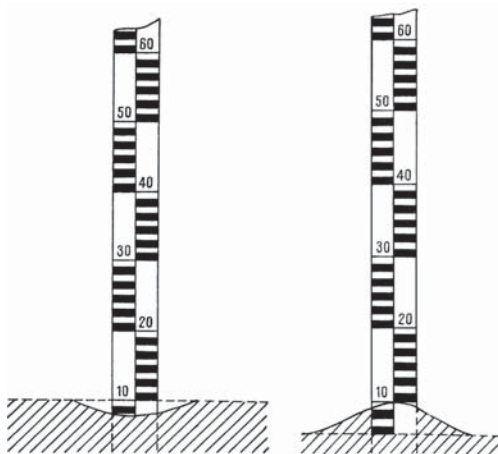


Рис. 1.7. Правильный отсчёт по снегомерной рейке показан пунктиром

Результаты основных метеорологических измерений и наблюдений записывают в таблицу ТМ-8. Результаты дополнительных метеорологических наблюдений записывают в таблице ТМ-8а. Результаты наблюдений за снежным покровом записывают в книжку КМ-5. Наблюдения за гололёдно-изморозевыми отложениями записывают в книжку КМ-4.

**Наблюдения за градом.** Выпадение града обычно происходит в тёплый период года, когда в мощных, кучево-дождевых облаках формируются градовые очаги (см. глава 7, раздел 7.5). При выпадении града размеры отдельных градин заметно варьируют. Крупными градинами считаются те, размер которых достигает 20 мм и более, при выпадении они наносят наибольший ущерб посевам. Наблюдатель поста должен отмечать время начала и окончания этого явления.

Средний размер градин определяется по количеству воды, образовавшейся после таяния собранных градин в осадкомерном стакане. Когда преобладают мелкие градины, величина которых визуально достигает 10 мм или менее, необходимо собрать в осадкомерный стакан 30 градин. При выпадении более крупных градин (глазомерно более 10 мм каждая) нужно собрать в осадкомерный стакан 10 градин. После того, как собранные градины растают в осадкомерном сосуде, следует отсчитать количество образовавшейся воды, используя для этого таблицы 1.1 и 1.2. В этих таблицах величину диаметра градин находят на пересечении горизонтальной строки, где указано число десятков делений стакана, с вертикальной графой, где указаны единицы делений стакана.

Таблица 1.1

**Средний диаметр градин (мм) в зависимости от объёма воды (деления осадкомерного стакана), содержащейся в 30 градинах**

Десятки делений	Единицы делений									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	5	6	7	8	9	10	10	10	11
10	11	12	12	12	13	13	13	13	14	14
20	14	14	15	15	15	15	15	16	16	16
30	16	16	16	17	17	17	17	17	17	18
40	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19
50	19	19	19	20	20	20				

*Примечание.* Диаметр градин, соответствующий 0,5 деления осадкомерного стакана, равен 4 мм.

Таблица 1.2

**Средний диаметр градин (мм) в зависимости от объема воды, содержащейся в 10 градинах (деления осадкомерного стакана)**

Десятки делений	Единицы делений									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	8	10	11	12	13	14	14	15	16
10	16	17	<b>17</b>	18	18	18	19	19	20	20
20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23
30	23	24	24	24	24	24	25	25	25	25
40	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27
50	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29
60	29	29	30	30	30	30	30	30	30	31
70	31	31	31	31	31	32	32	32	32	32

*Примечание.* Диаметр градины, соответствующий 0,5 деления осадкомерного стакана, равен 6 мм.

*Пример 1.* При выпадении града собрано 30 градин. После их таяния уровень воды в осадкомерном стакане установился на 3-м делении. По табл. 1.1 на пересечении строки «0 делений» (десяток) с графой, равной 3 делениям (единиц) осадкомерного стакана, находим средний диаметр градин, равный 7 мм.

*Пример 2.* Собрано в осадкомерный стакан 10 градин, уровень воды после таяния равнялся 12 делениям. По табл. 1.2 находим, что 12 делениям соответствует диаметр градин, равный 17 мм (строка «десятки делений» и графа 2 деления).

**Наблюдения за метелями и пыльными бурями.** Метель и пыльная буря представляют особую опасность, если они продолжаются в течение длительного времени при больших скоростях ветра. Степень опасности метели и пыльной бури в зависимости от скорости ветра и продолжительности этих явлений в различных районах неодинакова: она зависит от структуры и высоты снежного покрова при метели и от состояния поверхности почвы при пыльной буре. При достижении критических значений скорости ветра и видимости, характерных для района расположения метеорологического поста, проводят дополнительные наблюдения (при необходимости между стандартными сроками наблюдений) за скоростью и направлением ветра, а также за дальностью видимости. При организации метеорологического поста должны быть определены и записаны в книжку для наблюдений расстояния (в м, км)

от метеорологической площадки до выделяющихся, отдельно стоящих тёмных объектов, например: вершина холма, дерево или их группа, граница лесного массива, высокое здание – силосная башня, церковь и т. п. Светлые объекты (белые, покрытые снегом или блестящие) для наблюдений непригодны. Объекты для наблюдений выбираются инспектором УГМС или начальником станции. Выбранные объекты заносятся на графический план (схему), им присваиваются постоянные номера (от 1 до 9) в порядке возрастания расстояния до них. Место, с которого производится определение видимости, должно быть выбрано для постоянного использования и отмечено на плане (схеме) одновременно с объектами.

Наблюдатель должен записать дату и время начала и окончания явления, скорость и направление ветра. Видимость отмечается визуально, ориентируясь на зафиксированные расстояния до выбранных объектов. Пример записи представлен в табл. 1.3.

Таблица 1.3

**Пример записи наблюдаемых явлений**

20.02.2017 г.	9 ч 30 мин	10 ч 25 мин	13 ч 20 мин	16 ч 10 мин
Метель				
Скорость, м/с	18	16	16	24
Направление	ЮЗ	ЮЗ	ЮЗ	Ю
Видимость, м	100	100	100	50
21.02.2017 г.	05 ч 30 мин	20 ч 00 мин		
Метель				
Скорость ветра, м/с	16	10		
Направление	ЮЮЗ	Ю		
Видимость, м	100	–		

Если для метеорологического поста определено много объектов для определения дальности видимости, в том числе и находящиеся в нескольких км от наблюдателя, то целесообразно воспользоваться Международной шкалой видимости (табл. 1.4).

Такие атмосферные явления, как туман, метель, мгла, дождь, снегопад, дымка, ухудшают видимость до 5 баллов. Запись результатов наблюдений записывают в таблицу ТМ-8а:

- номера наиболее далёких видимых объектов;
- расстояние до них в км;
- соответствующие этим расстояниям баллы видимости, определённые по Международной шкале;
- явления, ограничивающие видимость.

Таблица 1.4

**Международная шкала видимости**

<b>Характеристика видимости</b>	<b>Интервалы видимости</b>	<b>Балл</b>
Очень плохая	Менее 50 м	0
	50 – 200 м	1
	200 – 500 м	2
Плохая	500 м – 1 км	3
	1 – 2 км	4
Средняя	2 – 4 км	5
	4 – 10 км	6
Хорошая	10 – 20 км	7
Очень хорошая	20 – 50 км	8
Исключительная	50 км и более	9

Наблюдатель метеорологического поста должен знать местные признаки погоды, характерные для района его расположения (см. глава 7, раздел 7.6).

**1.5. Понятие о времени**

Длительный период времени на территории бывшего СССР действовало декретное время, которое на 1 час больше поясного. Декретное время – это особая система определения времени, принятая в России с 1930 года. Она заключается в том, что к поясному исчислению прибавляется еще шестьдесят минут. Такой проект был принят Советом Народных Комиссаров для полноценной работы в светлое время суток и экономии электроэнергии. Декретное время было отменено в феврале 1991 года, но потом опять вступило в силу в январе 1992 года. В очередной раз оно было отменено в марте 2011 года в связи с принятием Государственной Думой РФ закона «Об исчислении времени» (03.06.2011 г. № 107-ФЗ), а затем были внесены изменения 21.07.2014 г. № 248-ФЗ, 30.12.2015 г. № 453-ФЗ, 05.04.2016 г. № 87-ФЗ, 03.07.2016 г. № 271-ФЗ, 22.11.2016 г. № 395-ФЗ о переходе на постоянное «зимнее» время.

Принятие законов необходимо для целей определения правовых основ исчисления времени и обеспечения потребностей граждан, общества и государства в достоверной информации о времени и календарной дате.

Законом на территории Российской Федерации определяется григорианский календарь – система исчисления времени,



которая основана на циклическом обращении Земли вокруг Солнца. *Календарный год* – период времени с 1 января по 31 декабря продолжительностью триста шестьдесят пять или триста шестьдесят шесть (високосный год) календарных суток. *Календарная дата* – порядковый номер календарных суток, порядковый номер или наименование календарного месяца и порядковый номер календарного года. *Календарная неделя* – период времени с понедельника по воскресенье продолжительностью семь календарных суток. *Календарный месяц* – период времени продолжительностью от двадцати восьми до тридцати одних календарных суток. Календарный месяц имеет наименование и порядковый номер в календарном году. *Календарные сутки* – период времени продолжительностью двадцать четыре часа, имеющий порядковый номер в календарном месяце; *местное время* – время часовой зоны, в которой расположена соответствующая территория. *Московское время* – время часовой зоны, в которой расположена столица Российской Федерации – город Москва. Московское время служит исходным временем при исчислении местного времени в часовых зонах. Законом установлено, что Московское время служит исходным временем при исчислении в часовых зонах и соответствует третьему часовому поясу в Национальной шкале времени Российской Федерации UTC (SU) + 3 (так называемое постоянное «зимнее» время). Числовые значения местного времени в разных часовых зонах отличаются на целое число часов. Местное время в субъектах Российской Федерации одной часовой зоны одинаково. Счёт минут и секунд во всех часовых зонах одинаков.

На территории Российской Федерации также устанавливаются часовые зоны, границы которых формируются с учётом границ субъектов Российской Федерации. Состав территорий, образующих каждую часовую зону, и порядок исчисления времени в часовых зонах изложены в Приложении 1.

### **Национальная шкала времени Российской Федерации UTC (SU)**

Национальную шкалу времени Российской Федерации UTC (SU) не следует путать с UTC. Национальная шкала времени Российской Федерации UTC (SU) отдельно контролируется Государственной службой времени России, и имеет некоторое отличие от UTC – Всемирного координированного времени (его англоязычное наименование Universal Coordinated Time). UTC – стандарт, по которому сообщество людей регулирует часы и время. Отличается

на целое количество секунд от атомного времени и на дробное количество секунд от Всемирного времени UT1. Оно было введено вместо устаревшего среднего времени по Гринвичу (GMT). Новая шкала времени UTC была введена, поскольку шкала GMT является неравномерной шкалой и связана с суточным вращением Земли. Шкала UTC основана на равномерной шкале атомного времени (TAI) и является более удобной для гражданского использования.

### Контрольные вопросы

1. Каким требованиям должно отвечать расположение метеорологической площадки?
2. Как устроена метеорологическая площадка на станциях?
3. На каком расстоянии друг от друга располагаются основные метеорологические приборы?
4. Каков порядок наблюдений на метеорологических станциях?
5. Как устроен метеорологический пост? Почему программы наблюдений метеорологического поста отличаются от программы метеостанций?
6. В какие сроки проводятся наблюдения на стандартных метеорологических площадках?
7. Перечислите основные различия в организации метеорологических площадок станции и поста.
8. Какими приборами оснащается метеорологическая площадка поста?
9. Где устанавливаются постоянные снегомерные рейки, как проводятся снегосъёмки в окрестностях метеорологического поста?
10. Расскажите, как определяется средний размер градин, выпавших в зоне расположения метеорологического поста.
11. Перечислите параметры, которые отмечают и записывают при наблюдениях за метелями и пыльными бурями?
12. Как организуются наблюдения за видимостью в окрестностях поста, какие критерии предусмотрены в Международной шкале видимости?
13. Расскажите об основных особенностях Национальной шкалы времени и о работе метеостанций в различных часовых зонах.

## Глава 2

# ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

### 2.1. Атмосферное давление. Единицы измерения

Атмосферное давление является одной из важнейших метеорологических характеристик и представляет собой силу, с которой столб воздуха, простирающийся от поверхности Земли до верхней границы атмосферы, давит на единицу земной поверхности. Числовое значение этой силы  $F$ , отнесённой к площади  $S$ , называют давлением, приходящимся на единицу площади, направленной перпендикулярно к ней

$$p = F/S. \quad (2.1)$$

Атмосферное давление, связанное с плотностью и температурой, характеризует физическое состояние атмосферы. В метеорологии атмосферное давление ( $p$ ) вычисляют по формуле

$$p = \rho g H, \quad (2.2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости (ртути);  $g$  – ускорение свободного падения ( $9,807$ ,  $\text{м/с}^2$ );  $H$  – высота столба ртути в трубке барометра, мм.

Плотность есть отношение массы вещества к его объёму.  $1 \text{ м}^3$  воздуха при температуре  $0,0 \text{ }^\circ\text{C}$  и нормальном давлении у земной поверхности имеет массу  $1,293 \text{ кг}$  ( $\approx 1,3 \text{ кг}$ ), а его плотность –  $1,3 \text{ кг/м}^3$ , т. е. масса одного кубического метра воздуха равна  $\approx 1,3 \text{ кг}$ . По мере удаления от поверхности Земли плотность воздуха становится меньшей и масса  $1 \text{ м}^3$  уменьшается. Так, на высоте  $12 \text{ км}$  этот объём воздуха весит  $319 \text{ г}$ , на высоте  $25 \text{ км}$  –  $43 \text{ г}$ , на высоте  $40 \text{ км}$  – только  $4 \text{ г}$ . При дальнейшем увеличении высоты разреженность газов продолжает увеличиваться и атмосфера без чётко выраженной верхней границы переходит в космическое пространство. Верхняя граница атмосферы на разных широтах Земли неодинакова, что связано с температурой воздуха и физико-географическими особенностями подстилающей поверхности. По некоторым литературным источникам верхняя граница атмосферы лежит на высоте  $800$ – $1000 \text{ км}$ , причём

над полюсами она значительно ниже, чем над экватором. В нижнем 20-километровом слое сосредоточено 0,9 массы всей атмосферы.

Величина ускорения свободного падения ( $g$ ) на земном шаре увеличивается от экватора к полюсам и уменьшается с высотой. Чтобы исключить зависимость высоты ртутного столба, уравновешивающего атмосферное давление от этих факторов, измеренное атмосферное давление приводят к ускорению свободного падения на широте  $45^\circ$  на уровне моря. Давление, равное 1013,3 гПа (760 мм) ртутного столба, имеющего температуру  $0^\circ\text{C}$  и находящегося на уровне моря, называют *нормальным атмосферным давлением*.

В разных географических зонах атмосферное давление в горизонтальном направлении распределяется неравномерно и непрерывно изменяется в каждой точке в один и тот же момент времени. Изменения атмосферного давления во времени в конкретной местности тесно связано с развитием атмосферных процессов – циклонов, антициклонов и прохождением фронтов. Различия в величине давления по горизонтали являются непосредственной причиной движения воздуха. Данные метеорологической и аэрологической<sup>1</sup> сети станций о величине и динамике атмосферного давления на различных уровнях атмосферы используются при составлении синоптических карт, являющихся основой для расчётов и прогнозов изменения погоды и её различных характеристик – температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, возможности выпадения и ожидаемой интенсивности осадков.

Основным прибором для измерения атмосферного давления служит барометр<sup>2</sup>. По измерениям высоты ртутного столба в трубке барометра судят о величине атмосферного давления, поскольку давление атмосферы удерживает столб ртути на определённой высоте.

В метеорологии долгое время атмосферное давление выражали в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.), что некорректно, поскольку силу измеряли единицей длины. С 1930 г. была введена новая международная единица давления – бар (от древнегреческого – «барос» – тяжесть) в системе СГС. В практике использовалась тысячная доля бара – миллибар, которая отражает давление силой 103 дин, приходящееся на  $1\text{ см}^2$ . Дина – единица силы, сообщающая массе в 1 г ускорение в  $1\text{ см}/\text{с}^2$ , 1 дина равна  $10^{-5}\text{ Н}$  (ньютон). Ньютон – единица силы в Международной системе единиц (СИ):

---

<sup>1</sup> Метеорологические измерения вне приземного слоя и до высот 40 км называются аэрологическими наблюдениями.

<sup>2</sup> Основные сведения о барометрах изложены в параграфе 2.2.

сила, которая телу массой 1 кг сообщает постоянное линейное ускорение, равное  $1 \text{ м/с}^2$ .

В 1980 г. в качестве международной единицы (СИ) для измерения атмосферного давления принят паскаль (Па). Один паскаль – это давление силой в 1 ньютон (Н), приходящееся на площадь в  $1 \text{ м}^2$  ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ). В метеорологии давление выражают в гектопаскалях (гПа) с точностью до 0,1 гПа.  $1 \text{ мбар} = 100 \text{ Па} = 1 \text{ гПа}$ ;  $1 \text{ гПа} = 10^2 \text{ Па}$ . Следовательно, один миллибар равен ста паскалям или одному гектопаскалю. Эта единица давления сейчас принята в метеорологии.

Найдём переход от 1 мм рт. ст. к гектопаскалю. Давление в 1 мм рт. ст. – это масса столба ртути высотой 1 мм, приходящийся на  $1 \text{ м}^2$  на уровне моря и широте  $45^\circ$ . Плотность ртути –  $13,596 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , ускорение свободного падения –  $9,807 \text{ м/с}^2$ :

$$1 \text{ мм рт. ст./} 1 \text{ м}^2 \approx (0,001 \text{ м}^3/\text{м}^2) \cdot 13,596 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,807 \text{ м/с}^2 = 133,33 \text{ кг} \cdot \text{м/м}^2 \cdot \text{с}^2 = 133,33 \text{ Н/м}^2 = 1,333 \text{ гПа}.$$

Следовательно,  $1 \text{ гПа} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$  или  $1 \text{ гПа} = 3/4 \text{ мм рт. ст.}$ ; или  $1 \text{ мм рт. ст.} = 4/3 \text{ гПа}$ . Если нормальное давление –  $760 \text{ мм рт. ст.}$  на широте  $45^\circ$ , то  $760 \cdot 1,333 \text{ гПа} = 1013,3 \text{ гПа} = 101330 \text{ Па}$ . Среднее атмосферное давление на уровне моря близко к  $1013,3 \text{ гПа}$ . Теперь определим, какая высота ртутного столба будет соответствовать  $1000 \text{ гПа}$ ?  $1000 \text{ гПа} = 1000 \cdot 0,75 \text{ мм рт. ст.} = 750 \text{ мм рт. ст.}$

Выше было показано, что давление воздуха уменьшается с высотой, т. к. на каждую более высоко расположенную поверхность давит меньшая масса атмосферы. А как эти изменения выражаются в единицах давления? Если на уровне моря давление составляет в среднем примерно  $1013 \text{ гПа}$ , то на высоте  $5,5 \text{ км}$  оно в среднем уже около  $500 \text{ гПа}$ , на высоте  $20 \text{ км}$  – менее  $50 \text{ гПа}$ . Изменение давления с высотой характеризуют *барической (барометрической) ступенью*, представляющей собой расстояние по вертикали, на котором величина давления изменяется на  $1 \text{ гПа}$ . Для небольшой разности высот (по вертикали) между двумя уровнями (до  $1000 \text{ м}$ ) барическая ступень вычисляется по формуле Бабинэ

$$H = \left[ 8000 \cdot 2(P_0 - P)(1 + at_0 + t)/2 \right] / P_0 - P, \quad (2.3)$$

где  $H$  – разность высот этих двух уровней или превышение одного пункта над другим, м;  $P_0$  и  $P$  – давление воздуха на нижнем и верхнем уровнях соответственно, гПа;  $a$  – коэффициент объёмного расширения воздуха, равный  $0,00366$  (округленно  $0,004$ ) на  $1^\circ \text{C}$ ;  $t_0$  и  $t$  – температура воздуха на нижнем и верхнем уровнях,  $^\circ \text{C}$ .

В числителе формулы цифра  $8000$  означает высоту в метрах так называемой однородной атмосферы, в слое которой плотность

воздуха с высотой почти не изменяется. Тогда при неизменной плотности воздуха, равной её значению на уровне моря, вся атмосфера «умещается» в слое от 0 до 8000 м.

Известно также, что барометрическая ступень  $H$  зависит от плотности: с увеличением высоты над уровнем моря плотность воздуха уменьшается, что приводит к росту барометрической ступени при увеличении высоты. Плотность воздуха зависит также и от его температуры. Барометрическая ступень в тёплом воздухе больше, чем в холодном (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Барометрическая ступень  $h$  (м/гПа) при разной температуре и давлении (по Л. Т. Матвееву, 1976)**

Давление, гПа	Температура, °С				
	-40	-20	0	20	40
1000	6,7	7,4	8,0	8,6	9,3
500	13,4	14,7	16,0	17,3	18,6
100	67,2	73,6	80,0	86,4	92,8

Чем меньше барометрическая ступень, тем быстрее убывает с высотой давление. Зависимость плотности воздуха от температуры обратная. Чем ниже температура воздуха, тем больше его плотность и тем меньше величина барометрической ступени. Следовательно, при одном и том же давлении барометрическая ступень увеличивается с ростом температуры.

Барометрическую ступень  $h$  (м/гПа) – расстояние по вертикали, на котором давление изменяется на одну единицу, можно вычислять по упрощённой формуле Бабинэ

$$h = 8000(1 + at) / p_{cm}, \quad (2.4)$$

где  $t$  и  $p_{cm}$  – соответственно температура и давление воздуха в той же точке, для которой вычисляется  $h$ ;  $a$  – коэффициент объёмного расширения воздуха, приблизительно равный 0,004 на 1 °С.

Для приведения величины атмосферного давления к уровню моря ( $p_m$ ) пользуются формулой

$$p_m = p_{cm} + \Delta p, \quad (2.5)$$

где  $p_{cm}$  – давление на метеорологической станции;  $\Delta p$  – поправка на приведение давления к уровню моря. Эту величину определяют по высоте станции  $H$  над уровнем моря и по барометрической ступени  $h$ :  $\Delta p$  (гПа) =  $H/h$ . Тогда величину атмосферного давления на уровне моря можно получить по формуле

$$p_m = p_{cm} + H/h. \quad (2.6)$$

*Пример расчёта.* Для передачи метеорологических данных в ЦГМС показания стационарного барометра 1002,5 гПа при температуре 20,0 °С требуется привести к уровню моря. Метеорологическая станция расположена на высоте 400 м, вертикальный градиент температуры равен 0,6 °С/100 м.

*Решение.*

1. Определим среднюю температуру воздуха в слое между метеорологической станцией и уровнем моря:

$$20,0 + (400 \cdot 0,6/100) = 22,4 \text{ °С.}$$

$$t_{cp} = (20,0 + 22,4)/2 = 21,2 \text{ °С.}$$

2. Вычислим барическую ступень:

$$h = 8000 (1 + 0,004 \cdot 21,2)/1002,5 = 8,6 \text{ м/гПа.}$$

3. Найдём давление на уровне моря:

$$p_m = 1002,5 + 400/8,6 = 1049,0 \text{ гПа.}$$

Зная атмосферное давление, температуру воздуха и высоту над уровнем моря в одном из двух пунктов, лежащих на разной высоте, можно по разности давлений в этих пунктах определить разность их высот, а отсюда найти и высоту второго пункта над уровнем моря. Этот способ определения высоты пункта путём построения изогипс называется *барометрическим нивелированием*. В сельскохозяйственной практике этот метод применяется в условиях сильнопересечённой местности, где *геодезическое нивелирование* применять нецелесообразно из-за его большой трудоёмкости.

Атмосферное давление в разных точках земной поверхности в один и тот же момент времени не одинаково, так как оно зависит от степени нагревания или охлаждения воздуха над различными поверхностями, от характера воздушных течений над ними и от других физико-географических причин. Изменение давления вдоль горизонтали, направленной перпендикулярно к изобарам от высокого давления в сторону низкого, приходящееся на расстояние 100 км, называется горизонтальным *барометрическим (барическим) градиентом* – ГБГ (гПа/100 км)

$$\text{ГБГ} = \Delta p \cdot 100/\Delta n, \quad (2.7)$$

где  $\Delta p$  – изменение давления (гПа) на расстоянии  $\Delta n$  (км) по горизонтали.

Горизонтальный барометрический градиент вызывает горизонтальное перемещение воздушных масс, называемое ветром, над подстилающей поверхностью.

## 2.2. Приборы для измерения атмосферного давления

В метеорологии атмосферное давление измеряют главным образом с помощью ртутных барометров. Принцип действия ртутных барометров следующий. В стеклянной трубке, запаянной с одного конца и наполненной ртутью, вертикально погружённой открытым концом в резервуар с ртутью, высота ( $H$ , мм) оставшейся в трубке ртути, т. е. давление этого столба ртути, уравнивается атмосферным давлением ( $p_a$ ), оказываемое на поверхность ртути в резервуаре. При условии достаточного вакуума в трубке давление ртутного столба высотой  $H$  (мм) равно атмосферному давлению

$$H\rho g = p_a. \quad (2.8)$$

Таким образом, измеряя  $H$ , при известных значениях  $\rho$  и  $g$  определяют величину атмосферного давления.

Для измерения атмосферного давления применяются следующие приборы: барометр стационарный чашечный ртутный СР; барометр-анероид БАММ-1; барограф метеорологический М-22А и др. Измерение атмосферного давления с помощью ртутных барометров сводится к определению с необходимой точностью высоты столба ртути. Достаточной визуальной точностью измерения считается точность до одной десятой величины единицы измерения, нанесённой на шкалах барометров.

**Стационарный чашечный ртутный барометр СР** устанавливают в служебном помещении метеорологической станции в барометрическом шкафчике, укрепленном на капитальной стене. Барометр должен висеть свободно, не касаясь чашкой стенок шкафчика; температура воздуха в помещении станции должна поддерживаться близкой к нормальной (от 15 до 20 °С). Барометр устанавливают вдали от отопительных приборов, окон и дверей (рис. 2.1).

Барометр СР состоит из стеклянной трубки (6) длиной около 800 мм и внутренним диаметром 7,2 мм, запаянной с верхнего конца и заполненной очищенной ртутью. Нижний конец трубки опущен в пластмассовую чашку (9) и укреплен с помощью шайбы.

Чашка (9) состоит из трёх свинчивающихся частей. В средней части чашки имеется диафрагма с отверстиями. Диафрагма, занимая некоторый объём, даёт возможность наливать в чашку меньше ртути, а также предохраняет ртуть от сильных колебаний и от попадания воздуха в стеклянную трубку при переноске прибора. Барометр сообщается с атмосферным воздухом через отверстие с резьбой в крышке чашки, которое для предохранения ртути от загрязнения закрывается винтом (1) с кожаной шайбой. Стеклянная



трубка находится в металлической оправе (2). В нижней части её укреплен термометр (8) для измерения температуры прибора с ценой делений  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В верхней части оправы имеется сквозная прорезь, в которой видна барометрическая трубка (6). В прорези виден мениск ртутного столба в стеклянной трубке. С левой стороны прорези нанесена шкала (3) с пределами измерений от 680 до 1070 (СР-А) или от 810 до 1100 мбар (СР-Б). Вдоль стеклянной трубки с помощью кремальеры (7) перемещается кольцо с укрепленным на нём нониусом (5), который служит для наводки на мениск ртутного столба и для отсчёта десятых долей. В верхней части оправы укреплено кольцо (4) для подвешивания барометра.

Перед наблюдением определяется температура и производится лёгкое постукивание пальцем по корпусу барометра для установления нормальной выпуклости мениска ртути. Чтобы измерить давление по барометру нужно вращением кремальеры (винта) подвести нониус (металлическая пластинка со шкалой) к вершине мениска ртути в барометрической трубке так, чтобы по обе стороны мениска были видны просветы. Производится отсчёт по шкале барометра и нониусу с точностью до  $0,1$  единицы шкалы. Ближайшее к нижнему срезу нониуса деление шкалы показывает значение давления в целых единицах. Десятые доли определяются по делению нониуса, которое наиболее точно совпадает с одним из делений шкалы.

На показания барометра вводятся следующие поправки: 1) температурная поправка; 2) постоянная поправка; 3) поправка для приведения давления к уровню моря. Постоянная поправка представляет собой сумму инструментальной поправки и поправки на приведение показаний барометра к нормальной силе тяжести. Это величина постоянная (она зависит от географической широты и высоты станции над уровнем моря).

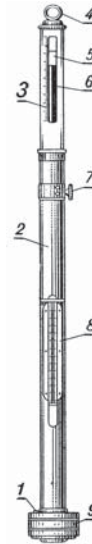


Рис. 2.1. Барометр чашечный стационарный СР:

- 1 – винт; 2 – оправка; 3 – шкала;
- 4 – кольцо; 5 – нониус;
- 6 – барометрическая трубка;
- 7 – кремальера; 8 – термометр;
- 9 – чашка

*Пример*

- Температура барометра – 18,6 °С.
- Температура барометра после округления –18,5 °С.
- Отсчёт по барометру – 770,2 мм.
- Отсчёт по барометру после округления – 770 мм.
- Поправка на приведение показаний барометра к температуре 0 °С – 2,3 мм.
- Постоянная поправка к барометру +0,7 мм.
- Атмосферное давление на уровне станции  $770,2 + 0,7 - 2,3 = 768,6$  мм = 1024,7 гПа.

Для вычисления атмосферного давления на уровне моря к атмосферному давлению на уровне станции прибавляется поправка, которая находится по таблицам, рассчитанным для каждой станции (таблица высылается на станцию отделом метеорологии Гидрометцентра).

*Пример*

- Атмосферное давление на уровне станции (отсчёт по барометру плюс постоянная поправка, плюс поправка на приведение показаний барометра к температуре 0 °С) равно 993,4 гПа;
- температура воздуха 24,5 °С;
- парциальное давление водяного пара 16,8 гПа.

Находим поправку для перехода к виртуальной температуре воздуха по таблице в «Методических указаниях по приведению давления к уровню и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях».

При округлённых значениях температуры воздуха 25 °С и парциального давления водяного пара 17 гПа поправка равна + 1,9 °С.

К значению температуры воздуха (24,5 °С) прибавляем найденную поправку (+1,9 °С), получаем виртуальную температуру, равную  $(24,5 + 1,9) = 26,4$  °С. По таблице «Поправок для приведения давления к уровню моря для данной станции» находим поправку при давлении 993,4 гПа и виртуальной температуре 26,4 °С. Поправка равна +14,8 гПа. Атмосферное давление, приведённое к уровню моря, равно  $(993,4 + 14,8) = 1008,2$  гПа.

**Барометр-анероид БАММ-1.** Этот барометр-анероид предназначен для измерения атмосферного давления в наземных условиях (рис. 2.2).

Чувствительным элементом барометра служит блок, состоящий из трёх последовательно соединённых анероидных коробок. Принцип его действия основан на деформации мембранных анероидных коробок под действием давления и преобразования

линейных перемещений мембран посредством передаточного механизма в угловые перемещения стрелки относительно шкалы.

Приёмником служит металлическая анероидная коробочка (А) с гофрированным дном и крышкой, из которой воздух полностью выкачивается. Пружина (Б) оттягивает крышку коробочки и тем самым предохраняет её от сплющивания давлением воздуха (рис. 2.3).

При повышении давления атмосферы крышка будет вдавливаться внутрь коробочки, а при уменьшении – выгибаться вверх. При помощи системы рычагов эти незначительные колебания крышки коробочки увеличиваются от 200 до 800 раз и передаются на стрелку (В), перемещающуюся вдоль шкалы с делениями.

Для создания постоянного натяжения цепочки на оси стрелка соединена спиральной пружиной (волоском) (С). В некоторых типах современных анероидов роль пружины выполняют упругие крышки коробочки. Приёмник давления в таких анероидах состоит из 5-6 мембранных коробочек. Для измерения температуры прибора в прорези шкальной пластины прикреплён дугообразный ртутный термометр, цена деления шкалы которого  $1^{\circ}\text{C}$ . Шкала барометра имеет круглую форму с делениями в паскалях. Цена одного деления 100 Па или 1 гПа. На некоторых анероидах шкала градуирована в миллиметрах ртутного столба с ценой деления 0,5 мм.

Барометр-анероид устанавливают горизонтально на специальной подставке или на столе. Футляр, в котором находится анероид, открывают только на время измерений. При измерениях вначале отсчитывают температуру по термометру при анероиде с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . После этого, слегка постучав по стеклу анероида для преодоления трения в передающей части, отсчитывают положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1 гПа или



Рис. 2.2. Общий вид барометра-анероида

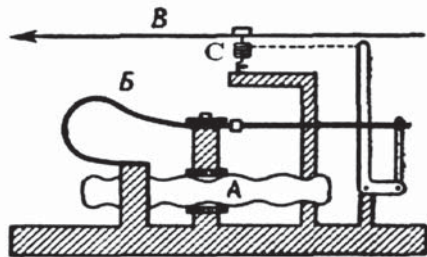


Рис. 2.3. Схема барометра-анероида

0,1 мм рт. ст. В показания анероида вводят три поправки: шкаловую, температурную и добавочную.

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

*Температурная поправка* учитывает влияние температуры прибора. При одном и том же атмосферном давлении, но разной температуре прибора показания анероида могут быть разными, так как с изменением температуры упругость мембранных коробок не остаётся постоянной. Чтобы исключить влияние температуры, показания анероида приводятся к 0 °С. Для этой цели определён температурный коэффициент  $K$ , представляющий собой изменение показания анероида при изменении температуры на 1 °С. Он указан в поверочном свидетельстве. Для получения температурной поправки  $X$  его надо умножить на температуру прибора, т. е.  $X = KT$ , где  $T$  – температура прибора в °С.

*Добавочная поправка* учитывает остаточную деформацию коробок по истечении некоторого времени. Поэтому в поверочном свидетельстве указывают дату её определения. Добавочную поправку рекомендуется определять не реже одного раза в шесть месяцев, а при барометрическом нивелировании – до начала и после работы. Для определения добавочной поправки необходимо провести одновременные отсчёты по стационарному чашечному барометру и анероиду (3–5 отсчётов). Разница между показаниями ртутного барометра с учётом всех поправок и анероида с двумя поправками (температурной и шкаловой) будет добавочной поправкой к анероиду. Вычислив все поправки и сложив их с учётом знаков, вносят общую поправку в отсчёт анероида и определяют давление воздуха.

Барометры-анероиды имеют широкое распространение, так как габариты их небольшие, они просты в обращении и удобны при транспортировке.

**Барограф метеорологический М-22А** применяется для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления внутри или снаружи помещения в течение некоторого интервала времени и определения характеристики барометрической тенденции (рис. 2.4).

Барографы изготавливаются двух типов: М-22АС – для регистрации суточного изменения давления и М-22АН – для регистрации изменения давления в течение недели. В роли чувствительных элементов в барографе используются блоки анероидных коробок. В основе работы барографа М-22А лежит деформация



Рис. 2.4. Барограф М-22А

анероидных коробок при изменении атмосферного давления, которая регистрируется стрелкой с пером через передаточный механизм на диаграммном бланке, укрепленном на барабане. На ленте ЛМ-1М горизонтальные линии – это шкала давления от 960 до 1050 гПа с ценой деления 0,2 гПа. Вертикальные дуги на ленте – это шкала времени. В суточной модели барографа цена деления соответствует 15 мин, у недельной модели – 2 ч. Вращение барабана происходит при помощи часового механизма.

Барограф устанавливают горизонтально на специальной полке или на столе недалеко от ртутного барометра. Во избежание резких колебаний температуры он должен быть удален от отопительных приборов и защищен от воздействия солнечных лучей.

Перед установкой барографа арретиром отводят стрелку с пером, снимают барабан, заводят часовой механизм и на барабан накладывают бумажную ленту, на которой записывают дату и время установки. После этого барабан надевают на неподвижный стержень, укрепленный на плате, поворотом арретира перо подводят к барабану так, чтобы положение его соответствовало времени и величине атмосферного давления (по барометру) в данный момент. Во время работы прибора в сроки наблюдений на ленте нажатием на кнопку делают засечки для сравнения его показаний с показаниями барометра, так как показания барографа контролируются данными ртутного барометра.

Ленту барографа обрабатывают после её снятия. Для этого сначала на ленту записывают исправленные значения давления в сроки наблюдений по барометру. Затем определяют поправки между показаниями на ленте барографа и показаниями барометра. Полученную разность в поправках между двумя соседними сроками равномерно разбрасывают на промежуточные часы. На заключительном этапе к значениям на ленте барографа в целые

часы прибавляют (с учётом знака) поправки и получают исправленные значения атмосферного давления по барографу.

Вычисление значений барометрической тенденции определяется как разность атмосферного давления на уровне станции в срок наблюдения и предыдущий срок (т. е. 3 часа назад). Характеристика барометрической тенденции определяется по виду кривой записи хода изменения атмосферного давления (по барографу).

*Задания*

1. Перевести давление, выраженное в миллиметрах, в миллибары:

- 722,5 мм =
- 721,9 мм =
- 723,0 мм =
- 715,4 мм =
- 725,1 мм =
- 737,7 мм =

2. Рассчитать превышения одной точки над другой, используя формулу Бабине.

Элементы	Варианты															
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
P <sub>1</sub> мм	725	730	735	728	736	715	722	733	778	734	720	731	740	762	754	745
P <sub>2</sub> мм	723	721	729	720	728	710	714	728	752	725	710	724	734	747	720	731
t <sub>1</sub> °C	20,5	17,9°	19°	18,6	21,0	19,0	21,0	18,7	17,7	20,1	19,6	18,4	17,4	18,9	16,8	20,3
t <sub>2</sub> °C	19,3	15,0	16°	16,7	19,9	17,5	17,8	17,2	15,0	18,9	16,3	15,3	14,7	16,7	14,6	17,8

**Контрольные вопросы**

1. Что называется атмосферным давлением?
2. Назовите единицы измерения атмосферного давления.
3. Выполните перевод измерения от мм ртутного столба к гектопаскалю.
4. Дайте определение нормальному атмосферному давлению.
5. Назовите основные приборы для измерения атмосферного давления.
6. Расскажите принципы их работы.
7. Расскажите о порядке работы по определению величины атмосферного давления.
8. Что такое барометрическое нивелирование?
9. Какова роль горизонтального барического градиента?
10. Где используются значения изменения атмосферного давления?

## Глава 3

# ИЗМЕРЕНИЕ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА. АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

### 3.1. Радиационные потоки в атмосфере

Солнечный свет (лучистая энергия) представляет собой электромагнитные колебания. Распределение лучистой энергии по длинам волн называется *спектром электромагнитного излучения*. Длины волн чаще всего измеряют в микрометрах (мкм),  $1 \text{ мкм} = 10^{-6}$ ; или в нанометрах (нм),  $1 \text{ нм} = 10^{-9}$ . Излучение Солнца или солнечная радиация служит источником энергии для многих процессов, происходящих в природе. К ним прежде всего относится жизнедеятельность растений, животного мира и человека. Рост и развитие сельскохозяйственных культур представляют собой биологический процесс усвоения и переработки солнечной энергии, поэтому сельскохозяйственное производство возможно только в районах с определённым минимумом поступления солнечной энергии на поверхность земли. Солнце излучает в окружающее пространство энергию, равную примерно  $3,3 \cdot 10^{26}$  Вт. Из этого количества до Земли доходит лишь около одной миллиардной части, что составляет примерно  $3,3 \cdot 10^8$  Вт/км<sup>2</sup>. Количественно лучистая энергия характеризуется *потоками радиации*, поступающей в единицу времени на единицу поверхности. Величину, характеризующую мощность потока лучистой энергии, называют *интенсивностью радиации*. В Международной системе единиц СИ интенсивность потока радиации выражают в Вт/м<sup>2</sup>;  $1 \text{ кал} / (\text{см}^2 \cdot \text{мин}) = 698 \text{ Вт/м}^2$ . На практике обычно используют данные не мгновенных значений потоков за секунду, а суммы радиации за какой-либо период: сутки, декаду, месяц, вегетационный период.

Суммы радиации выражают в Дж / (м<sup>2</sup> · ч), Дж / (м<sup>2</sup> · сут) и т. п. *Солнечной постоянной*  $S_0$  называют плотность потока солнечной радиации на верхней границе атмосферы при среднем расстоянии от Земли до Солнца. Её величина составляет  $1,37 \text{ кВт/м}^2$

(1,96 кал / (см<sup>2</sup> · мин)). В *актинометрии* (раздел метеорологии, изучающий потоки лучистой энергии) лучистую энергию принято разделять на потоки: *прямая* солнечная радиация ( $S$ ), *рассеянная* солнечная радиация ( $D$ ), *суммарная* солнечная радиация ( $Q$ ), *отражённая* солнечная радиация ( $R_k$ ) и *встречное излучение атмосферы*.

Радиацию, поступающую на верхнюю границу атмосферы и затем на земную поверхность от солнечного диска в виде пучка почти параллельных лучей, называют *прямой солнечной радиацией*. Интенсивность прямой солнечной радиации, поступающую на горизонтальную поверхность, измеряют актинометром

$$S' = S \sin h_{\odot}, \quad (3.1)$$

где  $S$  – прямая солнечная радиация, поступающая на поверхность перпендикулярно солнечным лучам, Вт/м<sup>2</sup>;  $h_{\odot}$  – высота Солнца над горизонтом, град.

Часть солнечной радиации, которая после рассеивания атмосферой и отражения от облаков поступает на горизонтальную поверхность, называется *рассеянной радиацией*. Чем выше Солнце и чем значительнее загрязнённость атмосферы, тем больше приход рассеянной радиации. Прямая солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, и рассеянная солнечная радиация вместе составляют суммарную радиацию (Вт/м<sup>2</sup>)

$$Q = S' + D. \quad (3.2)$$

Соотношение между прямой и рассеянной радиацией в составе суммарной радиации зависит от высоты Солнца, облачности и загрязнённости атмосферы, высоты поверхности над уровнем моря. Свет и тепло, получаемые растениями от Солнца, – результат воздействия суммарной солнечной радиации. Поэтому большое значение для сельского хозяйства имеют данные о суммах радиации, получаемых подстилаемой поверхностью за сутки, месяц, вегетационный период, год.

Суммарная радиация, дошедшая до земной поверхности, частично отражаясь от неё, создаёт длинноволновую отражённую солнечную радиацию, направленную от земной поверхности в атмосферу. Значение отражённой радиации в значительной степени зависит от свойств и состояния отражающей поверхности: цвета, шероховатости, влажности и др. Отражательную способность любой поверхности можно характеризовать величиной её *альбедо* ( $A_k$ ), под которым понимают отношение отражённой солнечной радиации к суммарной. Альбедо выражают в долях единицы (с точностью до сотых) или в процентах:

$$A_k = R_k / Q \cdot 100 \%. \quad (3.3)$$



Наблюдения показывают, что величина альbedo различных поверхностей изменяется в сравнительно узких пределах (10–30 %), исключение составляют снег и вода. Альbedo зависит от влажности почвы, с возрастанием которой оно уменьшается, что имеет большое значение в процессе изменения теплового режима орошаемых полей. Вследствие уменьшения альbedo при увлажнении почвы увеличивается поглощаемая радиация. Альbedo различных поверхностей имеет хорошо выраженный дневной и годовой ход, обусловленный зависимостью альbedo от высоты Солнца. Наименьшее значение альbedo наблюдают в околополуденные часы, а в течение года – летом.

В актинометрии спектр солнечной радиации подразделяется по длинам волн (длина волны – это расстояние между её соседними максимумами):

– коротковолновую (солнечную) с длинами волн  $\lambda = 0,28 - 4,0$  мкм, представляющую собой излучение Солнца при температуре шесть тысяч,  $K^1$ ;

– длинноволновую с длинами волн  $\lambda = 4 - 40$  мкм.

Коротковолновая радиация, достигая поверхности Земли, преобразуется в тепловую (длинноволновую) энергию.

Под действием солнечной радиации на поверхности Земли создаётся *освещённость*, образуемая суммарным действием прямой, рассеянной и отражённой радиацией, которая измеряется в люксах (лк). Освещённость изменяется в течение дня благодаря различной высоте Солнца над горизонтом, а также зависит от облачности и степени запылённости атмосферы. Продолжительность светлого времени суток, т. е. время, в течение которого земная поверхность освещается прямым солнечным сиянием, измеряется в часах за сутки или в процентах от продолжительности световой части суток. Продолжительность светлого времени суток зависит от географической широты местности и времени года. В общем случае по длинам волн солнечный спектр делится на три части: *невидимую ультрафиолетовую радиацию* (УФР) с длинами волн  $\lambda > 0,40$  мкм; *видимую* с длинами волн  $\lambda$  от 0,40 до 0,76 мкм;

---

<sup>1</sup> Кельвин – единица термодинамической температуры в Международной системе единиц СИ. Нижней границей такой температуры является абсолютный нуль (минус 273 °С), а основной реперной точкой – температура, характеризующая термодинамическое состояние воды в трёх фазах (жидкой, парообразной и твёрдой – лёд), называемой тройной точкой воды. 1 Кельвин определяется как 1/273,16 часть термодинамической температуры точки равновесия льда, воды и пара, равная 1 °С по СИ.

невидимую инфракрасную (ИФА) с длинами волн  $\lambda > 0,76$  мкм. Видимая часть радиации создаёт освещённость и воспринимается глазами человека, как белый свет с длиной волн  $\lambda = 0,34 - 0,76$  мкм, с максимумом около 0,55 мкм. Как известно, белый свет состоит из суммы лучей, цветовая гамма которых напоминает радугу с различными длинами волн (рис. 3.1).

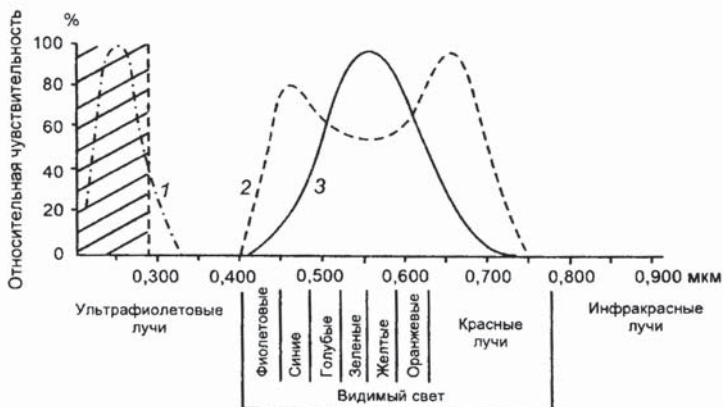


Рис. 3.1. Часть солнечного спектра:

1 – зона свёртывания белка; 2 – зона интенсивности фотосинтеза пшеницы; 3 – спектральная чувствительность глаза человека.

Заштрихована область ультрафиолетового излучения, не проникающая сквозь атмосферу

Плотность потока радиации чаще всего выражается в ваттах – Вт/см<sup>2</sup>, кал/(см<sup>2</sup>·мин) и эрг/(см<sup>2</sup>·с). В Международной системе единиц (СИ) для плотности потока (интенсивности) радиации используется единица Вт/м<sup>2</sup>, а для сумм радиации – Дж/(см<sup>2</sup>·ч), Дж/см<sup>2</sup>·день (табл. 3.1.).

Таблица 3.1

**Переводные множители между единицами измерения ФАР**

Единица	Единица				
	эрг/с	кал/с	кал/мин	Вт	кал/ч
Эрг/с	1	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$1,43 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$
Кал/с	$4,19 \cdot 10^7$	1	60	4,19	3600
Кал/мин	$6,98 \cdot 10^5$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	1	$6,98 \cdot 10^{-2}$	60
Вт	$1,0 \cdot 10^7$	0,239	14,34	1	$8,6 \cdot 10^3$
Кал/ч	$1,16 \cdot 10^4$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1

Окончание табл. 3.1

Единица	Единица			
	эрг	кал	ккал	Дж
Эрг	1	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-11}$	$10^{-7}$
Кал	$4,19 \cdot 10^7$	1	0,001	4,19
Ккал	$4,19 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^3$	1	$4,19 \cdot 10^3$
Дж	$10^7$	0,239	$2,39 \cdot 10^{-4}$	1
Кал/см <sup>2</sup>				$4,19 \cdot 10^4$ Дж/м <sup>2</sup>

Примечание.  $1 \text{ МДж/м}^2 = 10^6 \text{ Дж/м}^2$ .

Земная поверхность как «серое» физическое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля ( $-273 \text{ }^\circ\text{C}$ ), является источником излучения, которое называют *собственным излучением Земли* ( $E_з$ ).

Тепловое излучение деятельной поверхности (Земли) относится к длинноволновому излучению с длинами волн  $\lambda > 0,76$ . Оно направлено в атмосферу и почти полностью поглощается водяным паром, капельками воды и углекислым газом, содержащимися в воздухе. Излучение Земли зависит от температуры её поверхности

$$E_з = \delta \sigma T^4, \quad (3.4)$$

где  $\delta$  – относительная излучательная способность земной поверхности.

Для абсолютно чёрного тела  $\delta = 1$ , для чернозёма  $\delta = 0,87$ , для песка –  $0,89$ , для луга –  $0,94$ , для воды –  $0,96$ ;  $\sigma$  – это постоянная Стефана – Больцмана,  $\sigma = 5,7 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ ;  $T^4$  – абсолютная температура земной поверхности, К.

Атмосфера, поглощая небольшое количество солнечной радиации и практически всю энергию, излучаемую земной поверхностью ( $E_з$ ), нагревается и в свою очередь также излучает энергию. Около 30 % атмосферной радиации уходит в космическое пространство, а около 70 % приходит к поверхности Земли и называется *встречным излучением атмосферы* ( $E_a$ ). Разность между собственным излучением поверхности Земли и встречным излучением атмосферы называется *эффективным излучением* ( $E_{эф}$ )

$$E_{эф} = E_з - E_a. \quad (3.5)$$

Разность между приходящими и уходящими потоками лучистой энергии называется *радиационным балансом земной поверхности* ( $B$ ). Приходную часть радиационного баланса составляют прямая и рассеянная солнечная радиация, а также встречное излучение атмосферы. Расходную часть составляет отражённая солнечная радиация и длинноволновое излучение земной поверхности.

Радиационный баланс представляет собой фактический приход лучистой энергии на поверхность Земли, с которым физически связано её нагревание или охлаждение. Если приход лучистой энергии больше её расхода, то радиационный баланс положителен и поверхность нагревается. Если же приход меньше расхода, то баланс отрицателен и поверхность охлаждается. Радиационный баланс земной поверхности является одним из основных климатообразующих факторов. От его значения зависит тепловой режим не только почвы или водоёма, но и прилегающих к ним слоёв атмосферы. Уравнение радиационного баланса ( $B$ ) имеет вид

$$B = S' + D - R_k - E_{эф}. \quad (3.6)$$

Уравнение можно записать и в другом виде

$$B = Q - R_k - E_{эф}, \quad (3.7)$$

для ночного времени

$$B = E_a - E_s \text{ или } B = -E_{эф}. \quad (3.8)$$

Радиационный баланс можно измерить балансометром или вычислить по измеренным значениям  $S'$ ,  $D$ ,  $A_k$ ,  $E_{эф}$ .

Знание радиационного режима сельскохозяйственных угодий позволяет рассчитывать количество радиации, поглощённой посевами и почвой в зависимости от высоты Солнца, структуры посева, фазы развития растений. Данные о режиме необходимы и для оценки разных приёмов регулирования температуры и влажности почвы, испарения, от которых зависят рост и развитие растений, формирование урожая, его количество и качество.

## 3.2. Фотосинтетически активная радиация и расчёт её величин

Для жизнеобеспечения процессов, протекающих в живых организмах, наибольшее значение имеет биологически активная (физиологическая) часть спектра с длинами волн  $\lambda < 4$  мкм. Это так называемая *фотосинтетически активная радиация* (ФАР) с длиной волны  $\lambda$  от 0,38 до 0,71 мкм, входящая в состав коротковолновой радиации. По биологическому воздействию на растения диапазон коротковолновой радиации подразделяют на: *ультрафиолетовую, фотосинтетически активную и ближнюю инфракрасную*. Отдельные участки спектра даже для одного и того же биологического объекта имеют различную активность. Ультрафиолетовая радиация, достигающая земной поверхности, уменьшается по мере снижения Солнца над горизонтом. В высокогорных районах,

на высотах более 3000 – 4000 м над уровнем моря количество ультрафиолетовой радиации в 2 – 3 раза превышает таковую на равнине. Интенсивные потоки ультрафиолетовой радиации оказывают сильное биологическое воздействие на живые организмы, растения, животных и человека. Продолжительное воздействие ультрафиолетовой радиации вызывает у человека ожоги кожи, свёртывание белка, опасные для здоровья человека. Ультрафиолетовая радиация воздействует преимущественно на ростовые процессы растений, замедляя их. Например, растения, развивающиеся в парниках и теплицах, быстро вытягиваются в высоту, по сравнению с таковыми, выращиваемыми в открытом поле. Это происходит благодаря тому, что прозрачные покрытия (плёнки, стекло) снижают проникновение ультрафиолета внутрь теплиц.

Ближняя инфракрасная радиация ( $\lambda = 0,71...4,00$ ), активно поглощаемая водой листьев и стеблей растений, оказывает существенное тепловое воздействие на рост и развитие растений. Дальняя инфракрасная радиация ( $\lambda \geq 4,00$ ) оказывает только тепловое влияние на растения, её воздействие на рост и развитие растений несущественно. Так, в высокогорных районах энергия инфракрасных лучей заметно возрастает, что компенсирует растениям недостаток тепла, убывающего с увеличением абсолютной высоты местности над уровнем моря. При увеличении влажности воздуха интенсивность инфракрасных лучей уменьшается благодаря сильному поглощению их водяными парами воздуха.

ФАР является одним из важнейших факторов продуктивности растений, в том числе возделываемых культур. Знание о распределении ФАР, поступающей на посевы во времени и пространстве, имеет большое практическое значение. Интенсивность ФАР измеряют инструментально, но чаще пользуются расчётами по данным измеренных величин прихода прямой, рассеянной или суммарной радиации

$$\sum Q_{\text{фар}} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D, \quad (3.9)$$

где  $\sum Q_{\text{фар}}$  – суммарная фотосинтетически активная радиация (Дж/м<sup>2</sup>);  $\sum S'$  – сумма прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (Дж/м<sup>2</sup>);  $\sum D$  – сумма рассеянной солнечной радиации (Дж/м<sup>2</sup>).

Для приближённого расчёта ФАР используют также данные о суммарной радиации с коэффициентом 0,52

$$Q_{\text{фар}} = 0,52 \sum Q. \quad (3.10)$$

Для характеристики эффективности использования посевами фотосинтетически активной радиации применяют коэффициент полезного использования ФАР, %.

$$КПИ_{фар} = (qM / \sum Q_{фар}) \cdot 100, \quad (3.11)$$

где  $q$  – калорийность единицы сухого органического вещества, МДж/г;  $M$  – масса сухого вещества, образовавшегося на  $1 \text{ см}^2$  в течение вегетации, г;  $\sum Q_{фар}$  – сумма ФАР, поступающая на посевы за период вегетации, МДж/м<sup>2</sup>.

### 3.3. Методы измерения радиационных потоков в атмосфере

Общие приёмы использования принципов и средств измерений, применяемые при измерениях различных величин, называются *методами измерения*.

Для измерения потоков солнечной радиации применяются абсолютные и относительные методы и, соответственно, разработаны абсолютные и относительные актинометрические приборы. *Абсолютные приборы* обычно применяют только для тарировки и поверки относительных приборов.

*Относительные приборы* применяются при регулярных измерениях на сети метеостанций, а также в экспедициях и при полевых работах. Из них наиболее широко используются термоэлектрические приборы: *актинометр*, *пиранометр* и *альбедометр*. Приёмниками их являются термобатареи разных конструкций. Обычно для устройства термоэлементов используют медь, константан и манганин. При поступлении радиации на такой термоэлемент спаи под чёрной краской нагреваются сильнее спаев под белой краской, и в элементе возникает термоэлектрический ток, пропорциональный разности температур спаев. Эта разность температур пропорциональна интенсивности радиации. Для увеличения термоэлектрического тока и повышения в связи с этим точности измерений в актинометрических приборах используют термобатареи, состоящие из нескольких десятков термоэлементов. Разность температур спаев создается в результате различной поглотительной способности спаев или помещения спаев в разные радиационные условия. В первом случае (рис. 3.2) спай 1 покрывается платиновой чернью или сажей, а спай 2 – окисью магния (белый цвет). В результате различного нагревания возникают разности температур спаев, благодаря чему образуется термоток.

Во втором случае (рис. 3.3) разность температур спаев достигается путём затенения одних (спай 3) и облучения других (спай 2) солнечной радиацией. Так как разность температур спаев обуславливается приходящей солнечной радиацией, то интенсивность её будет пропорциональна силе термоэлектрического тока.

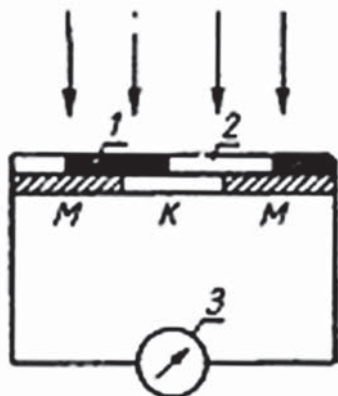


Рис. 3.2. Схема термоэлектрического приёмника:

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

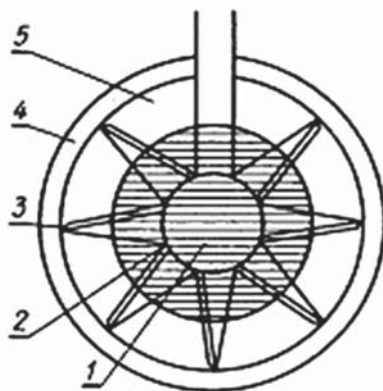


Рис. 3.3. Схема термовзвёздочки актинометра:

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

**Актинометр термоэлектрический М-3 (АТ-50).** Актинометр служит для измерения интенсивности прямой солнечной радиации на принципе превращения лучистой энергии в тепловую. На рис. 3.4 показан термоэлектрический актинометр. В колпаке трубки находится приёмник радиации, выполненный в виде диска диаметром 11 мм из серебряной фольги, зачернённой со стороны, обращённой к Солнцу. К диску с обратной стороны приклеены активные спаи термопары. Термоток измеряют стрелочным гальванометром (ГСА-1) (рис. 3.5).

Под воздействием поглощённой солнечной радиации температура зачернённого диска и активных спаев термопары повышается по сравнению с температурой пассивных спаев, укрепленных на корпусе и, следовательно, имеющих температуру наружного воздуха. Возникающий термоэлектрический ток, пропорциональный разности температур активных и пассивных спаев, измеряется

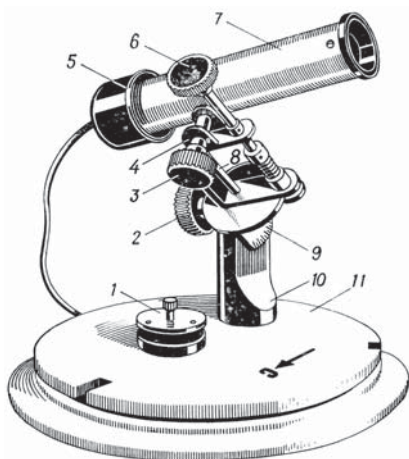


Рис. 3.4. Актинометр М-3:  
1 – крышка; 2, 3 – винты; 4 – ось  
склонений; 5 – экран; 6 – рукоятка;  
7 – трубка; 8 – ось мира; 9 – сектор  
широт (шкала широт); 10 – стойка;  
11 – основание

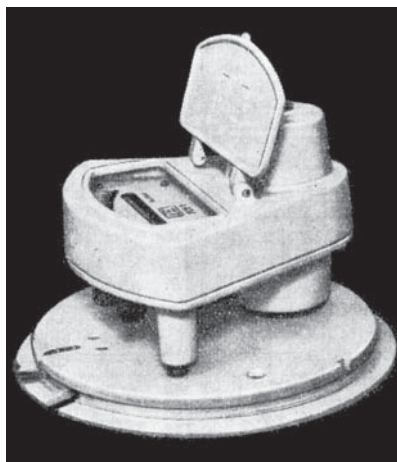


Рис. 3.5. Внешний вид  
гальванометра ГСА-1

гальванометром. Внутри трубки имеются диафрагмы, которые выделяют пучок солнечных лучей с углом  $10^\circ$  так, что зачернённый диск воспринимает радиацию от солнечного диска и околосолнечной зоны неба радиусом  $5^\circ$ . При установке прибора для наблюдений его ориентируют стрелкой на основании на север. Затем, ослабив винт, устанавливают сектор широт соответственно широте места наблюдений. Ослабив винт и вращая рукоятку, нацеливают трубку на Солнце. Ось и рукоятка ориентированы по оси мира, и поэтому вращением рукоятки можно вести трубку за Солнцем.

*Измерения* после наведения актинометра на Солнце начинают с отсчёта места нуля. Для этого трубку закрывают съёмной крышкой и через 60 с по гальванометру делают отсчёт  $N_0^1$ . Затем снимают крышку и с интервалом 20 с, контролируя точность нацеливания на Солнце, по гальванометру проводят три отсчёта  $N_1, N_2, N_3$ , трубку закрывают крышкой и через 1 мин отсчитывают место нуля гальванометра  $N_0^2$ . После измерений прибор закрывают крышкой.

*Обработка наблюдений.* Сначала вычисляют среднее арифметическое из двух нулевых отсчётов прямой солнечной радиации  $\bar{N} = (N_0^1 + N_0^2)/2$ . Затем аналогично рассчитывают среднюю арифметическую величину из трёх отсчётов прямой солнечной



радиации. Из поверочного свидетельства конкретного гальванометра по значению среднего арифметического из трёх отсчётов прямой солнечной радиации находят шкаловую поправку  $\pm \Delta N$ . Затем вычисляют сумму:  $N = \bar{N} + \Delta N - \bar{N}_0$ , которую умножают на переводной множитель  $a$ , и получают значение прямой солнечной радиации  $S$  (Вт/м<sup>2</sup>).

Переводной множитель  $a$  определяют путём сравнения с контрольной парой приборов, переводной множитель которой известен.

Чтобы получить величину интенсивности прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность,  $S$  умножают на синус высоты Солнца (см. формулу 3.1).

Актинометр рассчитан на работу при температуре окружающего воздуха от -60 до +60 °С.

**Пиранометр универсальный М-80М.** Измерение рассеянной и суммарной радиации производится с помощью *пиранометра*. Рассеянная радиация имеет максимум в коротковолновой части спектра, этим и обусловлен голубой цвет неба. Эта особенность учтена конструкцией прибора. Приёмником радиации является плоская поверхность, участки которой окрашены в чёрный и белый цвета (рис. 3.6).

Чёрные участки закрашены сажей, которая поглощает всю радиацию, белые участки закрашены магнизией, поглощающей только длинноволновую радиацию.

Таким образом, между чёрными и белыми участками появляется разность температур, обусловленная разным поглощением радиации. Значит, коротковолновая радиация, которую поглощает сажа, но не поглощает магнезия, является причиной появления разности температур между участками. Разность температур измеряется с помощью термобатарей, нечётные спаи которой помещены под чёрными участками, а чётные – под белыми. Следовательно, мерой рассеянной радиации является термоток термобатарей, измеряемый с помощью гальванометра.

Однако поглощательные свойства сажи и магнезии не являются столь идеальными. Магнезия всё же поглощает коротковолновую



Рис. 3.6. Схема приёмника пиранометра М-80 М

радиацию, хотя и гораздо хуже, чем сажа, а поглощательные свойства сажи и магнезии по отношению к длинноволновой радиации различны. Для выравнивания их поглощательных свойств по отношению к длинноволновой радиации белые поля пропитаны парафином. Для исключения ветровой погрешности, т.е. выравнивания температур чёрных и белых полей, приёмник радиации закрыт прозрачным колпаком 1 (рис. 3.7), пропускающим коротковолновую радиацию.

Правда, стеклянный колпак поглощает радиацию в областях  $0,3-0,4$  и  $2,5-4$  мкм, но интенсивность прямой и рассеянной радиации очень мала.

Для измерения *рассеянной радиации* следует исключить попадание на пиранометр прямой солнечной радиации. С этой целью предусмотрен теневой экран, который привинчивается к специальному стержню и закрепляется на нём винтом (3). Необходимой

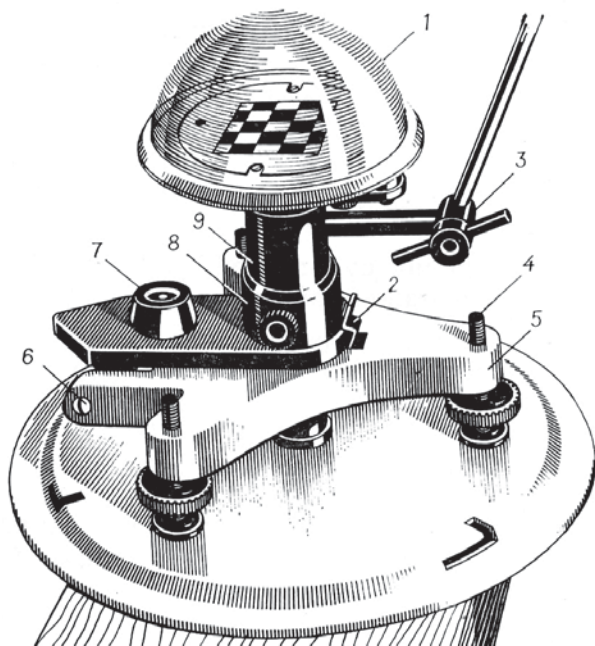


Рис. 3.7. Пиранометр термоэлектрический универсальный М-80-М:

- 1 – колпак головки, под стеклянным колпаком головки расположена шахматная термобатарея;
- 2 – стопорная пружина;
- 3 – шарнир затенителя (теневого экрана);
- 4 – установочный винт;
- 5 – основание;
- 6 – шарнир откидного штатива;
- 7 – уровень;
- 8 – винт;
- 9 – стойка с осушителем внутри

частью пиранометра является осушитель, установленный во внутренней полости стойки. Осушитель заполнен силикагелем – веществом, поглощающим водяной пар. Таким образом, под колпаком находится сухой воздух, что способствует сохранности термобатареи (9). В промежутках между измерениями пиранометр закрывают металлической крышкой.

*Суммарная радиация* может быть измерена пиранометром точно так же, как и рассеянная, но в этом случае теневой экран не применяется. Практически, однако, суммарную радиацию определяют сложением прямой, измеренной по актинометру, и рассеянной, измеренной по пиранометру. Так делают потому, что при измерении суммарной радиации чёрные поля нагреваются слишком сильно, и происходит перенос тепла с чёрных на белые поля, что вызывает погрешность в измерениях.

**Альбедометр походный М-69.** Этот прибор создан для исследований в полевых и экспедиционных условиях и функционирует по принципу, описанному для пиранометра. Возможности прибора достаточно широки. С его помощью за счёт смены направления термобатареи в нужную сторону измеряют указанные выше виды радиации (рис. 3.8 и 3.9).

Для этого служит устройство, позволяющее поворачивать приёмную часть прибора вверх (для измерения  $Q$ ) и вниз (для измерения  $R_k$ ). Определив альбедометром суммарную и отражённую радиацию, вычисляют альbedo подстилающей поверхности.

Походный альбедометр имеет устройство, автоматически выводящее приёмную поверхность прибора в строго горизонтальное положение. Головка альбедометра идентична головке пиранометра, однако навинчена уже на карданный подвес (рис. 3.8) – устройство, позволяющее автоматически выводить приёмную

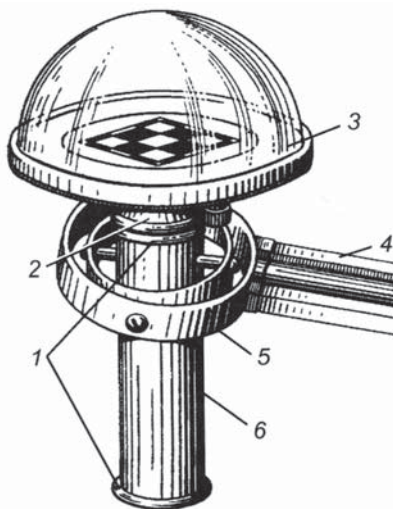


Рис. 3.8. Альбедометр походный М-69 (положение вверх):  
1 – резиновые прокладки;  
2 – втулка; 3 – головка пиранометра;  
4 – рукоятка; 5 – карданный подвес;  
6 – трубка

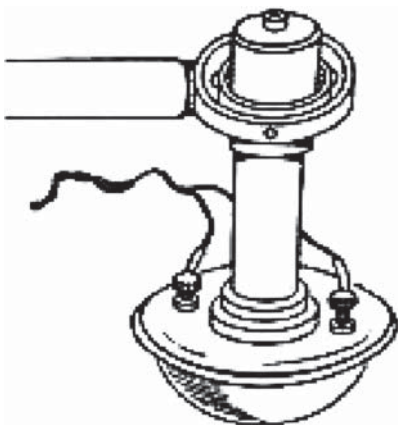


Рис. 3.9. Альбедометр походный М-69 (положение вниз)

поверхность прибора в горизонтальное положение. Карданный подвес состоит из двух металлических колец. Внутреннее кольцо через полуоси имеет свободу вращения внутри внешнего кольца. В свою очередь полая трубка, на которой закреплена головка пиранометра, имеет свободу вращения на полуосях, смещенных на  $90^\circ$ . Поскольку альбедометр имеет двойную степень свободы вращения, то появляется возможность его автоматического перевода в горизонтальное положение под действием силы тяжести.

Головка альбедометра навинчивается на трубку, которая по пазам может скользить вверх-вниз внутри кольца. Внутри самой трубки свободно перемещается цилиндрический грузик-противовес, который и обеспечивает надежную установку горизонтального положения приемной поверхности. Наблюдения по походному альбедометру производятся так же, как и по пиранометру.

#### 3.4. Измерение радиационного баланса

Радиационный баланс определяется как алгебраическая сумма всех видов излучения, приходящих на данный участок атмосферы, причём излучение с верхней полусферы считается положительным, а с нижней – отрицательным. Для измерения радиационного баланса используется **балансометр М-10М** в комплекте с гальванометром. Прибор представляет собой круглую плоскую пластинку диаметром 100 мм с двумя квадратными чёрными приёмниками на противоположных сторонах. Термобатарейка укреплена между горизонтально установленными двумя чёрными пластинами (приёмниками), помещёнными одна под другой (рис. 3.10 а, б, в).

Термобатарейка состоит из ленты константана, намотанной на медный брусок. Половина витков гальваническим путём покрыта тонким слоем серебра. Вторая половина витков зачернена. Места окончания серебряного слоя – это термоспаи, которые располагаются поочередно на верхней и нижней поверхности бруска. Для

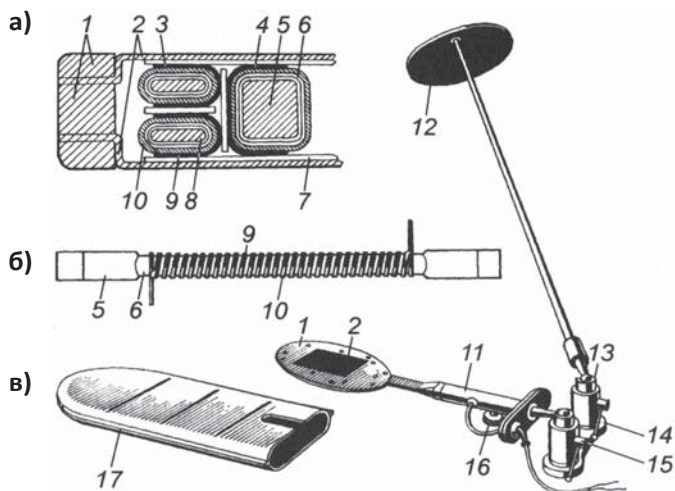


Рис. 3.10 (а, б, в) Термоэлектрический балансомер М-10М:

а) – схема поперечного сечения термобатареи;

б) – термобатарея (вид сбоку); в) – общий вид балансомера;

- 1 – корпус; 2 – приёмник радиации; 3, 4 – спаи; 5 – медный брусок;  
 6, 7 – изоляционные прокладки; 8 – термобатарея; 9 – серебряный слой;  
 10 – константановая лента; 11 – рукоятка; 12 – теневой экран;  
 13, 15 – шарниры; 14 – планка; 16 – винт; 17 – чехол

соединения с гальванометром к крайним термоэлементам припаяны концы мягких проводов, которые выведены через рукоятку. Внутренняя полость балансомера герметизирована. Балансомер крепится к стойке с помощью шарнира.

Принцип действия термоэлектрического балансомера основан на том, что все виды приходящей к земной поверхности радиации: прямая солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность  $S'$ , рассеянная солнечная радиация  $D$  и длинноволновые потоки радиации – главным образом излучение атмосферы  $E_a$ , поглощаются верхней приёмной поверхностью, а уходящее от земной поверхности излучение в виде коротковолновой отражённой радиации  $R_k$ , длинноволновой отражённой радиации  $R_D$  и длинноволновой радиации Земли  $E_3$  поглощаются нижней приёмной поверхностью, т. е.

$$B = (S' + D + E_a) - (R_k + R_D + E_3), \quad (3.12)$$

где  $B$  – радиационный баланс земной поверхности ( $\text{кВт/м}^2$ ).

Таким образом, электродвижущая сила (ЭДС) термобатареи пропорциональна разности температур между верхней и нижней пластинами, обусловленной радиационным балансом. Для измерения радиационного баланса регистрируют ток через гальванометр, соединённый с выводами термобатареи. Связь радиационного баланса с показаниями гальванометра выражается через переводной множитель формулой

$$B = k \cdot (N - N_0), \quad (3.13)$$

где  $N$  – показания гальванометра в делениях при измерении,  $N_0$  – показания гальванометра при закрытой крышке (место нуля),  $k$  – поправочный множитель, имеющий размерность  $\text{кВт/м}^2 \cdot \text{дел.}$ , берут из поверочного свидетельства. Этот множитель зависит от типа применяемого гальванометра – при замене гальванометра другим поправочный множитель изменяется. Поэтому в актинометрических измерениях используют гальванометры стандартного типа ГСА-1м.

Существующую ветровую погрешность балансомера – выравнивание температур верхней и нижней пластин при обдуве воздушным потоком – нельзя ликвидировать с помощью стеклянного колпака, как это делалось в пиранометре, поскольку будет потеряна значительная часть излучения. Для устранения этой погрешности балансомер делают тонким для увеличения теплообмена между пластинами за счёт теплопроводности внутреннего слоя, содержащего термобатарею. Этот теплообмен, в отличие от ветрового теплообмена, может быть рассчитан, так как он не зависит от каких-либо погодных условий.

### 3.5. Определение продолжительности солнечного сияния

При наблюдениях за продолжительностью солнечного сияния определяется время, в течение которого солнце освещало пункт наблюдений. В светлое время суток при безоблачной погоде продолжительность солнечного сияния равна времени от восхода Солнца до заката, когда солнечный диск находится выше горизонта.

Для определения продолжительности солнечного сияния (в часах за сутки) применяется *гелиограф универсальной модели ГУ-1*, который регистрирует солнечное сияние только в случаях, когда прямая солнечная радиация равна или больше  $0,1 \text{ кВт/м}^2$ . Принцип действия гелиографа основан на прожигании лент прямыми солнечными лучами, собранными в фокусе стеклянного шара.

Основной частью гелиографа (рис. 3.11) является стеклянный шар (а) диаметром 98 мм, укрепленный в дугообразном держателе (6) и закрепленной на нём чашей (5).

Шар может вращаться вокруг вертикальной оси (7) вместе с втулкой (3) и диском (4). Шар фиксирует изображение солнечного диска на синей ленте. Шар вместе с чашей и установленной на ней лентой устанавливают в одном из четырёх положений: А, Б, В, Г и закрепляют штифтом (12), причём одну из букв устанавливают против указателя (13).

Для установки гелиографа по широте места служит шкала, нанесённая на краю сектора (9). Для этого отпускают винт (11) и, вращая весь прибор вокруг своей оси (2), устанавливают его

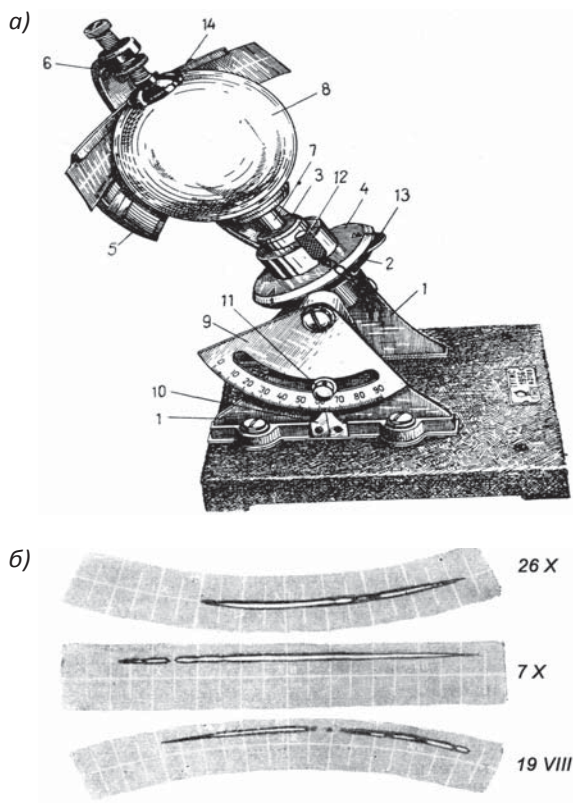


Рис. 3.11. Гелиограф универсальный ГУ-1:  
а – общий вид прибора; б – ленты с прожогами солнечного луча



на места наблюдений против индекса (10) на одной из стоек (1), затем закрепляют винт (11).

В короткий зимний день ленты кривой формы вставляют выпуклостью вниз в верхний паз, а чашу устанавливают в положение Б и ленты сменяют один раз в сутки после захода Солнца. Вложенную ленту закрепляют в пазу иглой (14). Если продолжительность дня больше 10 часов, то чашу с вечера ставят в положение А, а между 11 и 13 ч по истинному времени сменяют ленту и чашу переставляют в положение В.

Весной и осенью применяют прямые ленты, которые вставляют в средний паз. Летом ленты вставляют в нижний паз выпуклостью вверх. Если продолжительность дня больше 19 часов, то производят ещё одну смену лент около 19–21 часа с перестановкой чаши в положение Г. В этом случае необходима ещё одна перестановка чаши в положение А, которую выполняют между 3 и 5 часами.

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

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

Перед выходом на площадку наблюдатель должен определить тип ленты по дате производства наблюдений и на оборотной стороне ленты необходимо записать название станции, номер прибора и дату установки. Часы и минуты записываются непосредственно при её наложении. После замены отмечается время снятия ленты. При наложении ленты необходимо затенять прибор, чтобы не получились лишние прожоги. Ежедневно наблюдатель обязан проверить, что гелиограф чист и не сдвинут с места. Ленты необходимо менять ежедневно в установленные сроки, даже если была пасмурная погода и прожога на ленте не получилось.

*Обработка результатов* заключается в вычислении продолжительности солнечного сияния за каждый час по следам прожога на ленте гелиографа. Для каждого часового интервала длина прожога на ленте оценивается в десятых долях часа. Если прожогом занят весь часовой промежуток, то записывается 1,0, если часть часового промежутка, то соответственно размеру этой части: 0,1; 0,2; 0,3 и т. д. Если в течение часа линия прожога была прерывиста, то определяется продолжительность каждого прожога, а затем вычисляется суммарное значение за данный час. При определении



продолжительности отдельных прожогов обязательно учитываются и очень слабые прожоги, запись гелиографа в виде отдельной точки принимается за 0,1 ч. После обработки ленты все данные о продолжительности солнечного сияния переносятся с неё в бланк табл. ТМ-15.

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

### Задания

1. Вычислить суммарную радиацию  $Q$  для каждого часа наблюдений и по этим значениям определить  $\Phi AP$ , используя формулу:  $\Phi AP = 0,52 Q$ .

Время	7	9	11	13	15	17	19
$S$ (кВт/м <sup>2</sup> )	0,18	0,38	0,68	0,71	0,54	0,29	0,01
$D$ (кВт/м <sup>2</sup> )	0,07	0,10	0,12	0,14	0,13	0,11	0,07

$Q$

$\Phi AP$

2. Вычислить радиационный баланс, используя формулу  $B = Q - R_k - E_{эф}$ , производя промежуточные расчёты  $Q = S' + D$ ,  $S' = S \cdot \sin h_{\odot}$ ,  $R_k = A \cdot Q$ .

$$\begin{array}{lll} \text{Пример: } h_{\odot} = 19^{\circ} & \sin h_{\odot} 19^{\circ} = 0,31 & S = 0,80 \text{ Вт/м}^2 \\ D = 0,07 \text{ Вт/м}^2 & E_{эф} = 0,10 \text{ Вт/м}^2 & A = 18 \% \end{array}$$

### Контрольные вопросы

1. Что изучает наука актинометрия? Где используются результаты актинометрических измерений?
2. Какие актинометрические приборы используются в метеорологии?
3. Какие способы измерения актинометрических величин вам известны?
4. Что такое относительные и абсолютные приборы?
5. Как осуществляется наводка актинометра на солнце?
6. Что выражает альбедо? Как рассчитывается альбедо? Назовите значения альбедо для различных подстилающих поверхностей.
7. Каковы значения  $\Phi AP$ , используемые для сельскохозяйственных культур?
8. Как устроен гелиограф, где используются результаты измерения этим прибором?

## Глава 4

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ

Лучистая энергия Солнца при соприкосновении с подстилающей поверхностью преобразуется в тепло. Теплообмен между атмосферным воздухом и окружающей средой осуществляется путём *теплопроводности, испарения с последующей конденсацией* или *кристаллизацией* водяного пара и *турбулентности*. Часть тепла затрачивается на нагревание приземного слоя атмосферы, почвы, растений, на их испарение (транспирация), часть передаётся в нижележащие слои почвы, часть возвращается в более высокие слои атмосферы.

Приход солнечной радиации неодинаков в течение суток, сезонов года, он зависит от географического положения территории (широты, долготы и высоты местности над уровнем моря). Дневное нагревание и ночное охлаждение вызывают суточные колебания температуры подстилающей поверхности. При прочих равных условиях температура почвы зависит от её механического состава и степени увлажнения. Температура почвы измеряется различными видами термометров.

#### 4.1. Виды термометров

Вид термометра определяется физической характеристикой, выбранной в качестве его термометрического свойства и положенной в основу принципа действия данного термометра. Наибольшее применение в метеорологии имеют жидкостные термометры (рис. 4.1), основанные на принципе изменения объёма жидкости при изменении температуры. Деформационные термометры – основанные на принципе изменения линейных размеров (и благодаря этому – иногда формы) твёрдых тел с изменением температуры. Термометры сопротивления – основанные на принципе изменения электропроводности тел с изменением температуры. Термоэлектрические термометры (термопары) применяются

реже, они основаны на принципе изменения электродвижущей силы термопар при изменении разности температуры спаев.

Основной частью *жидкостного термометра* является резервуар, соединённый с капиллярной трубкой, свободный конец которой запаян. Резервуар наполнен жидкостью. Для изготовления метеорологических термометров используется специальное термометрическое стекло. Термометр состоит из небольшого стеклянного резервуара цилиндрической или шарообразной формы (6), к которому припаяна капиллярная трубка (5). Резервуар и часть трубки заполнены жидкостью. В качестве термометрических жидкостей для метеорологических термометров применяют ртуть или спирт. Температуру отсчитывают по шкале (3), изготовленной из стекла молочного цвета. Она расположена за капиллярной трубкой внутри стеклянной наружной оболочки (2) и прочно укреплена в точках (4 и 1). Инерция жидкостных термометров – 3–7 мин. В показания жидкостных термометров необходимо вводить шкаловые поправки, которые указаны в Поверочном свидетельстве каждого термометра.

*Термоэлектрические термометры* основаны на изменении электродвижущей силы термоэлементов, возникающей вследствие разности температур спаев. Термоэлементы часто изготавливают из меди и константана. Преимущество этих термометров перед жидкостными термометрами состоит том, что ими можно производить измерения во всем диапазоне температур, учитывающихся в метеорологии. Инерция термоэлектрических термометров составляет 30–100 с, а погрешность измерения – 0,5–1,0 °С.

*Электротермометры сопротивления* основаны на принципе изменения электрического сопротивления материалов. Датчики термометров сопротивления могут быть металлическими, проводочными и полупроводниковыми. Термометры сопротивления широко применяются для дистанционных измерений. Инерция их мала, есть приборы с инерцией около 1 с, погрешность измерения около 0,2 °С.

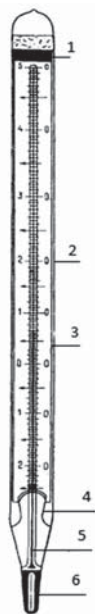


Рис. 4.1. Жидкостные термометры

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

#### 4.2. Измерение температуры поверхности почвы

Поверхность почвы не является однородной и совершенно ровной. Физические свойства почвы и шероховатость её поверхности обуславливают различную температуру поверхности почвы даже на соседних участках. В солнечную погоду различия могут достигать 5 °С. В связи с этим определение температуры поверхности почвы с помощью жидкостных термометров, имеющих очень ограниченный по размерам приёмник (резервуар), представляет большие трудности. Для измерений температуры поверхности почвы или снежного покрова на метеорологических станциях применяются термометры: срочный (ТМ-3) – для измерения температуры в данный срок, минимальный и максимальный – для измерения минимальной и максимальной температур за период, прошедший с предыдущего срока.

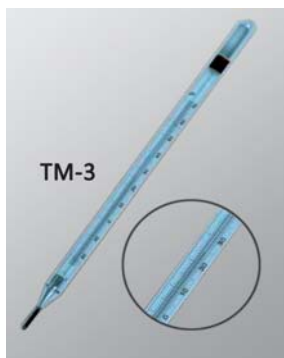


Рис. 4.2. Срочный термометр ТМ-3

Срочный термометр ТМ-3 (рис. 4.2) ртутный с цилиндрическим резервуаром, с вставной шкалой от -35 до +70 °С. Цена деления составляет 0,5 °С. Минимальный ТМ-2 и максимальный ТМ-1 – термометры такого же образца, что и для измерения температуры воздуха, но с большими пределами шкалы.

#### **Максимальный термометр (ТМ-1).**

Ртутный термометр служит для определения максимального значения температуры за какой-либо промежуток времени. Он имеет вставную шкалу из молочно-белого стекла. В пространстве над ртутью в капилляре создается вакуум (рис. 4.3).

Деления на шкале нанесены через 0,5 °С. Общая длина термометра около 350 мм. Диаметр внешней стеклянной оболочки около 28 мм. Резервуар цилиндрический диаметром около 8 мм. Рабочее положение термометра почти горизонтальное с

небольшим наклоном в сторону резервуара. Сохранение максимальных показаний в термометре достигается тем, что в дно резервуара впаивается стеклянный штифт (2) (рис. 4.3), другой конец которого довольно плотно входит в капилляр, оставляя в нём очень узкое кольцообразное

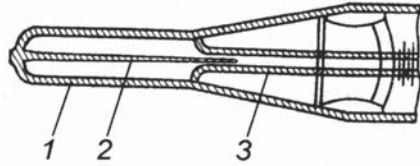


Рис. 4.3. Цилиндрический резервуар максимального термометра ТМ-1: 1 – резервуар; 2 – штифт; 3 – капилляр

отверстие. При повышении температуры ртуть в резервуаре термометра расширяется, и так как силы, вызывающие расширение, велики, то, несмотря на большое трение, она проходит сквозь узкое отверстие. При понижении же температуры в узком месте происходит разрыв ртути, так как силы молекулярного сцепления ртути меньше сил трения, и вышедшая из резервуара ртуть обратно опуститься не может. Значит, столбик ртути, находившийся в капилляре до начала падения температуры, останется в нём на той же высоте. Отсчёт максимальной температуры производится по верхнему краю штифта. Следовательно, максимальное показание термометра сохраняется. Для подготовки максимального термометра к следующему измерению его берут за середину и, удерживая резервуаром вниз, делают несколько резких взмахов рукой, встряхивая термометр, чтобы перегнать часть ртути из капилляра в резервуар. С течением времени максимальный термометр вследствие износа стеклянного штифта или его поломки может потерять свою «максимальность», т. е. столбик ртути, соответствующий наибольшей температуре, которую показывал термометр, не будет задерживаться в капилляре, а будет свободно проходить в резервуар; такой термометр становится не пригодным для работы и его следует заменить другим.

**Минимальный термометр (ТМ-2).** На рис. 4.4 показана часть шкалы этого термометра со штифтом и мениском.

Термометр служит для определения самой низкой (минимальной) температуры между сроками наблюдений. Он имеет вставную шкалу из молочного стекла, цена

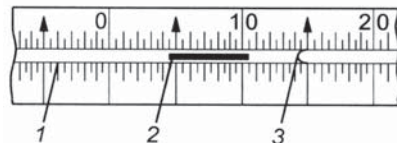


Рис. 4.4. Часть шкалы минимального термометра ТМ-2: 1 – капилляр; 2 – штифт; 3 – мениск спирта

наименьшего деления которой 0,5 °С. Термометрическая жидкость – спирт. Резервуар термометра диаметром 7–10 мм цилиндрический. Общая длина термометра около 300 мм, диаметр внешней стеклянной трубки около 18 мм. Капилляр на конце, противоположном резервуару, имеет расширение. Внутри спирта в капилляре находится небольшой штифт из тёмного цветного стекла, свободно перемещающийся внутри капилляра. Подготавливая минимальный термометр для производства измерения, его поднимают резервуаром вверх и ждут, пока штифтик дойдет до поверхности спирта в капилляре. У поверхности спирта штифтик останавливается, так как он настолько лёгок, что не может прорвать поверхностную пленку спирта. Затем термометр кладут горизонтально.

Если температура окружающей среды начнёт повышаться, то спирт, расширяясь, будет обтекать штифтик, не сдвигая его с места. Сила трения головок штифтика о стенки капилляра вполне достаточна для удержания его при этом на месте. При понижении температуры воздуха объём спирта начинает уменьшаться, и он переходит из капилляра в резервуар. При этом поверхностная плёнка спирта будет перемещать штифтик к резервуару, так как сила трения головок о стенки капилляра значительно меньше силы поверхностного натяжения плёнки (штифтик не сможет прорвать плёнку и потому будет ею перемещаться к резервуару). В случае дальнейшего повышения температуры штифтик останется на месте и укажет таким образом наиболее низкую температуру с момента предыдущей подготовки термометра. При измерениях записывают показания термометра по концу штифтика и по концу спиртового столбика (контрольный отсчёт). Контрольный отсчёт необходим, поскольку спирт может частично испаряться и конденсироваться в верхней части капилляра, следовательно, столбик спирта в капилляре станет короче, и показания, снятые по положению штифтика, будут заниженными (минимум занижен). Сравнения показаний психрометрического и минимального термометров позволяют определить дополнительную поправку к минимальному термометру.

Термометры устанавливают на ровной, открытой, не затеняемой площадке размером 4 × 6 м, свободной от растительного покрова, вытянутой с востока на запад. Почву на площадке поддерживают в разрыхлённом состоянии. Не следует допускать уплотнения почвы, образования корки и трещин. Термометры помещают в центре участка так, чтобы резервуар и внешняя оболочка до половины были погружены в почву, резервуар направляют к востоку. Первым

с севера устанавливают срочный термометр, вторым – минимальный, третьим – максимальный. Минимальный и срочный термометры устанавливают горизонтально, максимальный – с небольшим наклоном в сторону резервуара. С образованием снежного покрова термометры устанавливают на поверхности снега. После каждого снегопада или метели термометры освобождают из-под снега и вновь устанавливают на его ненарушенной поверхности. При температуре поверхности почвы или снежного покрова  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  ртутные термометры убирают в помещение, отмечая в книжке КМ-1, когда термометры сняты и когда вновь установлены.

### 4.3. Измерение температуры почвы на различных глубинах

**Термометр-щуп (АМ-6)**, называемый также *походным термометром*. Для определения температуры почвы в пахотном слое используется жидкостный толуоловый термометр. Термометрической жидкостью в термометре является толуол (метилбензол). Длина термометра – 460–480 мм. Внешняя оболочка состоит из двух частей: нижняя у резервуара меньшего диаметра плавно переходит в более широкую верхнюю часть. Шкала помещается в верхней, более широкой части термометра. Пределы измерения – от 0 до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , цена деления –  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для того чтобы предохранить термометр от поломки и для удобства погружения его в почву на нужную глубину, его вставляют в оправу (4). Датчиком (приемной частью) прибора является резервуар, находящийся в конусообразном наконечнике (6). Эбонитовая прокладка (5) служит термоизоляцией, чтобы верхние слои почвы не влияли на показания термометра. На оправе, на противоположной окну стороне, нанесены сантиметровые деления с оцифровкой через каждые 5 см, так что нуль находится на 15 мм ниже. Шкала служит для отсчётов глубины погружения термометра (рис. 4.5).

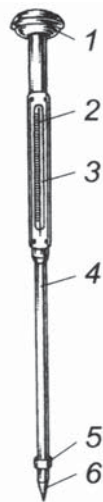


Рис. 4.5. Термометр-щуп (АМ-6):

- 1 – рукоятка; 2 – термометр;
- 3 – прорезь в оправе; 4 – оправа;
- 5 – прокладка; 6 – наконечник

Для придания термометру большей инерции пространство между резервуаром термометра и наконечником заполняют медными опилками. Обладая большой массой и теплопроводностью, они обеспечивают термометру инерционность и теплопередачу от почвы через медную пластинку к резервуару. Для измерения температуры термометр вертикально вдавливают в почву на заданную глубину. Для термометра-щупа инерцию времени для отсчёта искусственно завышают до 10–15 мин, так как отсчёты производят, вынимая термометр из почвы, когда он попадает в воздушную среду, имеющую другую температуру. Шкаловые поправки для этого термометра не вводят. Погрешность измерения составляет 1 °С, что совпадает с ценой деления шкалы походного термометра. Термометр в оправе имеет достаточно большую инерцию, и поэтому измерение температуры (отсчёт по термометру) производят не менее чем через 6 мин после его погружения. Температуру почвы этим термометром можно измерять на глубинах от 3 до 40 см.

**Коленчатые термометры Савинова ТМ-5.** В программу метеорологических (и агрометеорологических) наблюдений на сети станций Росгидромета традиционно включены измерения температуры пахотного горизонта почвы коленчатыми термометрами Савинова. В стандартном наборе имеется четыре термометра, применяемые для измерения температуры почвы в пахотном горизонте на глубинах 5, 10, 15 и 20 см. Это ртутные термометры, имеющие вставную шкалу с ценой деления 0,5 °С. Ртуть помещена в резервуарах цилиндрической формы. Несколько выше резервуаров термометры изогнуты под углом 135°. Нижняя часть стеклянной защитной оболочки термометра (от резервуара до начала шкалы) заполнена

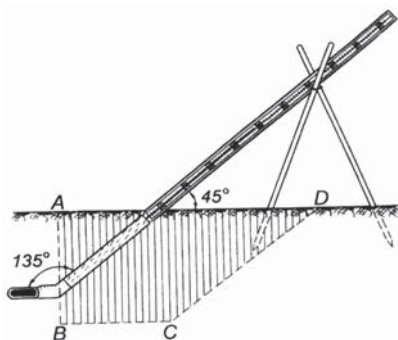


Рис. 4.6. Схема установки коленчатого термометра ТМ-5

теплоизоляцией – ватой с сургучными перемычками. Такая теплоизоляция снижает влияние температуры слоёв почвы, расположенных выше резервуара термометра на его показание, благодаря этому термометр измеряет только ту температуру почвы, где расположен резервуар (рис. 4.6).

Установка коленчатых термометров производится весной после схода снежного покрова и оттаивания почвы в середине



площадки к западу от термометров для измерения температуры поверхности почвы на расстоянии 20–30 см от них. Верхние части термометров со шкалами, выступающие из почвы, располагают с востока на запад в порядке возрастания глубин в 10 см один от другого.

Перед установкой коленчатых термометров выкапывают траншею в виде трапеции *ABCD* (рис. 4.6) по линии восток–запад с отклонением от этой линии к северу на 30°. Сторона *AB* траншеи вертикальная. В этой стенке траншеи делают углубления. Сначала устанавливают термометр на глубину 20 см, присыпают землёй, затем устанавливают аналогично термометры на глубины 15, 10 и 5 см. После установки почву, где установлены термометры, поливают водой для уплотнения грунта. На следующий после установки день можно начинать наблюдения по коленчатым термометрам. Для удобства считывания наблюдаемых температур угол наклона верхней части термометров к поверхности почвы должен составлять 45°, а резервуары должны располагаться в почве горизонтально. Измерения по термометрам производят последовательно слева направо. Термометры различаются между собой только по длине надземной части. Отсчёты по термометрам выполняются с точностью до 0,1 °С. При обработке результатов наблюдений в показания каждого термометра вводят поправку из Поверочного свидетельства. Надземная часть коленчатых термометров Савинова крайне подвержена механическим повреждениям (на них часто садятся птицы), что выводит термометры из работы и загрязняет почву ртутью.

**Термометр манометрический максимально-минимальный АМ-17.** Этот термометр применяют для измерения максимальной, минимальной и срочной температуры почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки сеяных многолетних трав. Пределы измерения температуры от -30 до +30 °С. Погрешность измерений  $\pm 1$  °С (рис. 4.7).

Термометр АМ-17 состоит из: термической системы, герметически запаянной под давлением, заполненная толуолом, включающая термобаллон (1); манометрической геликоидальной пружины (3) с биметаллическим компенсатором (4) и соединительного капилляра (2); корпуса (14), крышки со стеклом (11); барабана (7), кронштейна (5) со стрелкой и пером; стрелочного арретира (6); шкалы (8); арретира шкалы (9); ручки-фиксатора (13), имеющей 90 зубьев (15); фиксирующего зуба (12). Часть капилляра, выходящая из корпуса прибора, заключена в металлическую оплётку (10). Оставшаяся часть капилляра (около 2,3 м) и термобаллон являются датчиком прибора.

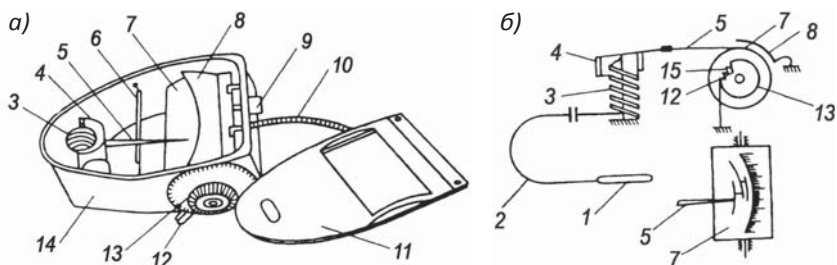


Рис. 4.7. Внешний вид (а) и схема устройства (б) максимально-минимального термометра АМ-17

Принцип действия термометра заключается в следующем. При изменении температуры датчика геликоидальная пружина (3) раскручивается, поворачивает термокомпенсатор (4) и кронштейн со стрелкой (5). Перо стрелки, прижатое к поверхности закопченного барабана, прочерчивает на нём дугу. Крайние точки дуги показывают экстремальные температуры (левый конец дуги – минимальную, правый – максимальную).

Для снятия показаний термометра барабан поворачивают на один зуб. При этом на барабане дополнительно прочерчивается поперечная черта, а дуга подводится к шкале. По крайним точкам дуги снимают показания минимальной и максимальной температуры, а по поперечной черте – срочной температуры. Всего на поверхности закопченного барабана может быть проведено 90 измерений экстремальных значений температуры, после чего барабан должен быть заново закопчен или заменён другим, не использованным. Этот термометр устанавливают в одной из четырёх частей наблюдательного участка (одна повторность) на расстоянии не менее 5 м от площадок, предназначенных для вырубki в зимний период монолитов для отращивания зимующих растений. В отведённом месте в землю вертикально закапывают деревянный столбик диаметром 8–10 см и длиной 110–130 см. Над поверхностью почвы столбик должен выступать на 60–70 см, учитывая среднюю многолетнюю высоту снежного покрова в пункте установки термометра. На столбике до его закапывания выдалбливают желобок под ту часть капилляра, которая защищена металлической оплёткой. Прибор устанавливают на столбике и закрепляют с помощью трёх опорных лапок. Капилляр в оплётке, идущий от корпуса прибора, укрепляют в желобке, выдолбленном на столбике. Корпус прибора закрывают полушаровой крышкой защитного

устройства. В почве возле столбика в междурядье посева вырывают канавку длиной около 2,5 м, шириной 5–8 см и глубиной 3 см. В неё укладывают и зарывают не защищённую оплёткой часть капилляра с термобаллоном. Конец термобаллона должен быть подведён к месту расположения узла кущения растений. Одновременно с установкой термометра на наблюдательном участке устанавливают стационарную снегомерную рейку М-103. Установку термометра производят до промерзания верхнего слоя почвы и не позже чем через 1-2 дня после осеннего обследования состояния зимующих культур.

До начала систематических зимних наблюдений за температурой почвы в осенний период необходимо произвести 1-2 контрольных наблюдения по термометру и сделать соответствующие записи отсчётов в книжке КСХ-2м, указав в примечании «Контрольные». Весной после полного оттаивания почвы термометр снимают с участка.

### **Электрические почвенные термометры**

**Транзисторный электротермометр ТЭТ-2.** Этот термометр – прибор относительный, его применяют при измерении температуры пахотного слоя почвы весной, температуры воды в рисовых чеках летом и температуры почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой головки зимующих посевов бобовых культур, а также корневой системы плодовых культур. Общий вид ТЭТ-2 представлен на рис. 4.8, общая схема прибора – на рис 4.9.

Основные технические характеристики: диапазон измерения температуры от минус 40 до 80 °С; погрешность измерения от минус 10 до 50 °С  $\pm 0,5$  °С; от минус 10 и выше 50 °С  $\pm 2$  °С; точность отсчёта 0,1 °С; масса прибора 2 кг; масса коммутационной коробки 1,1 кг.

Датчик температуры почвы устанавливают с помощью рукоятки (9) на заданную глубину. Шкала глубины нанесена на трубке (11), ноль совпадает с наконечником, где расположен датчик. Перед измерением стрелку прибора устанавливают на ноль с помощью корректора (6). Кнопкой (2) включают питание регистратора, переключатель диапазонов (1) устанавливают в положение «к» и проводят контроль наличия питания (обычно используют элемент 373 «Марс»). При этом стрелка прибора должна показывать на сектор (5). Если при контроле стрелка располагается левее сектора (5), следовательно, необходимо заменить элемент питания. Для начала измерения переключатель диапазонов ставят в

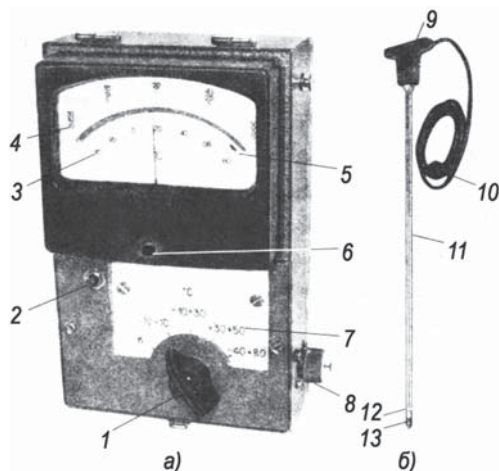


Рис. 4.8. Общий вид ТЭТ-2 (а – пульт, б – датчик):

- 1 – ручка переключения; 2 – кнопка включения; 3 и 4 – шкалы;
- 5 – сектор контроля питания; 6 – корректор; 7 – диапазоны;
- 8 – розетка; 9 – рукоятка; 10 – кабель; 11 – металлическая трубка;
- 12 – втулка; 13 – наконечник

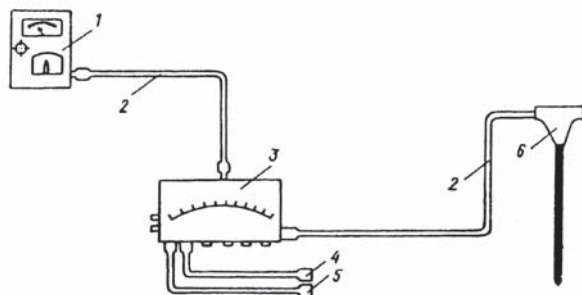


Рис. 4.9. Общая схема ТЭТ-2:

- 1 – измерительное устройство; 2 – кабель; 3 – коммутационная коробка; датчики, присоединяемые с помощью разъемов; 4 – кислотоупорный датчик, 5 – герметичный датчик, 6 – почвенный датчик универсальный

положение «минус 40... плюс 80 °С» и производят грубый отсчёт температуры. Отсчёт производится через 1 мин по нижней шкале прибора. Более точный отсчёт получают переключением диапазонов на тот, на который попадает грубый отсчёт. При этом отсчёт производят по верхней шкале.

**Термометр электронный транзисторный цифровой ТЭТ-Ц11.**

Этот термометр предназначен для измерения температуры в разных средах: в почве, в воздухе, в сыпучих, жидких и других средах в диапазоне измерения температуры от  $-60$  до  $+100$  °С. Точность отсчёта  $0,1$  °С. Погрешность измерения температуры почвенным и универсальным датчиками в диапазоне от  $-40$  до  $+80$  °С составляет  $\pm 0,5$  °С; в диапазонах от  $-40$  до  $-60$  °С и от  $+80$  до  $+100$  °С погрешность равна  $\pm 1$  °С. Для универсального датчика в диапазоне от  $-5$  до  $+15$  °С погрешность измерения равна  $\pm 0,2$  °С. Термометр состоит из измерительного блока (1), датчика универсального (7) и датчика почвенного (8), присоединяемых к измерительному блоку с помощью разъёма (2) (рис. 4.10).

Измерительный блок выполнен в пластмассовом корпусе, на котором размещены: кнопка включения питания (5), кнопка включения подсветки и питания (6); экран отсчётногo устройства (4); разъём (2) для подключения датчиков. В нижней части корпуса находится отсек для источника питания, который закрывается кожухом (3). Универсальный датчик выполнен в металлическом герметическом корпусе цилиндрической формы. Длина кабеля, соединяющего датчик с измерительным блоком, равна  $1,5$  м. Датчик используется для

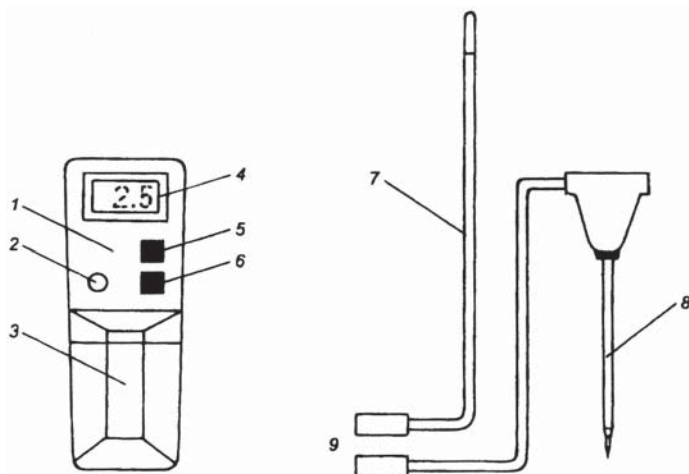


Рис. 4.10. Термометр ТЭТ-Ц11:

- 1 – измерительный блок; 2 – разъём для подключения датчиков; 3 – съёмный кожух; 4 – экран отсчётногo устройства; 5 – кнопка включения питания; 6 – кнопка включения подсветки и включения питания; 7 – датчик универсальный; 8 – датчик почвенный; 9 – разъёмы

измерения температуры почвы на глубине залегания узла кущения озимых культур и коревой шейки многолетних трав. Почвенный датчик диаметром 5 мм закреплён на конце металлического трубчатого стержня с ручкой. На стержне нанесены деления и цифры, позволяющие определять глубину погружения датчика в почву. Максимальная глубина погружения 50 см.

**Электротермометры сопротивления АМ-2М и АМ-29 М.**

Эти термометры применяются для измерения температуры почвы на глубине залегания узла кущения злаков (3–5 см) в холодный период года. Действие этих электротермометров основано на свойстве металлов (в данном случае – меди) изменять своё электрическое сопротивление в зависимости от температуры среды. С повышением температуры сопротивление металлического проводника увеличивается, с понижением – уменьшается. Для измерения значения этого меняющегося сопротивления в приборах применен равноплечий неуравновешенный мост постоянного тока. Электротермометры АМ-2М и АМ-29А имеют пределы измерения температуры почвы от -30 до +45 °С. Поскольку принцип действия этих двух термометров и их конструктивные особенности практически не различаются, приводим описание только одного из них – АМ-2М. Электротермометр состоит из двух основных частей: датчика и пульта (рис. 4.11).

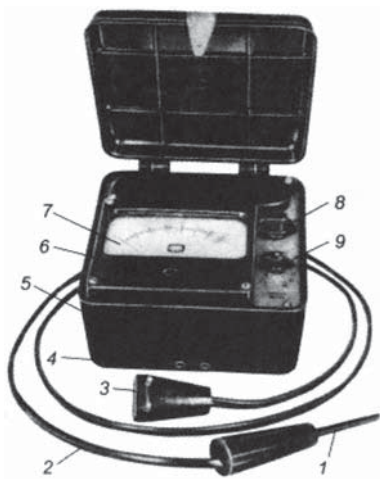


Рис. 4.11. Электротермометр сопротивления АМ-2М

Датчик (1) – медный проводник, заключённый в латунную гильзу. Посредством кабеля (2) и вилки (3) его подсоединяют к измерительному пульту (5). Измеритель – микроамперметр (7) со шкалой, диапазон которой от -5 до +45 °С (верхний) и от +5 до -35 °С (нижний). Корректор (6) служит для установки стрелки регистратора в начальное положение. Ручкой реостата (8) регулируют напряжение питания, а переключателем диапазонов (9) устанавливают пульт в заданное рабочее положение. Через розетку (4), расположенную на передней стенке пульта, вилка кабеля с датчиком подключается

к регистратору. Внутри корпуса пульта находится источник питания – гальванические элементы. Датчики этих электротермометров (до 10 штук в комплекте) устанавливают после даты посева озимых культур в междурядье. В течение всего холодного периода датчики находятся в почве до устойчивого схода снежного покрова, поскольку температура на глубине залегания узла кущения в этот период тесно связана с его высотой и плотностью.

Датчик представляет собой медный проволочный термометр сопротивления, заключённый в герметический кожух. Приёмная часть датчика устанавливается в почву, имеет вид лопаточки или штыря. Для установки каждого датчика выкапывают канавку глубиной 3 см, шириной 5–8 см и длиной 150 см, в которую укладывают датчик и кабель. Оставшуюся часть кабеля с вилкой, длина которой должна превышать максимальную высоту снега (возможную для конкретной местности), закрепляют на стойке с подставкой для установки переносного пульта. Затем канавку засыпают землёй. При измерении температуры в срок наблюдений датчик подключают к пульту, горизонтально установленный на подставке. Корректором (6) стрелку микроамперметра подводят к делению 5 °С верхнего диапазона шкалы. Затем переключатель диапазона переводят в положение «к», ручкой реостата устанавливают стрелку на делении 45 °С. Потом переключатель сначала ставят в положение «в» (выключено), после этого в положение «и» (измерение) и производят отсчёт температуры в целых градусах. В холодный период года пользуются нижним диапазоном шкалы (от +5 до -35 °С). Погрешность измерений  $\pm 1$  °С. Шкаловые поправки в показания микроамперметра не вводят.

**Термометр электронно-цифровой АМТ-2.** Этот термометр представляет собой автоматизированное средство измерения температуры, выполненное на базе программно-технических средств. Термометр предназначен для измерения срочной температуры почвы весной в пахотном слое на глубинах 5 и 10 см и в холодный период года на глубине залегания узла кущения зерновых культур и корневой шейки многолетних трав, которая в среднем равна 3 см. В комплект термометра включены: пульт измерения температуры (ПИТ) – 1 шт.; датчик температурный щуп (ДТЩ) – 2 шт.; датчик температурный стационарный (ДТС) – 2 шт. Названные датчики преобразуют температуру в пропорциональное ей значение электросопротивления. Термометр обеспечивает измерение, запоминание, отображение в цифровом виде значение температуры. Диапазон измерения от -50 до +60 °С. Предел допустимой погрешности



измерения температуры  $\pm 0,2$  °С. Цена единицы младшего разряда цифрового изображения на индикаторе 0,01 °С. Энергопитание ПИТ обеспечивается встроенным автономным источником питания от 7 до 9 вольт. Продолжительность безотказной работы термометра не менее 10 000 ч, срок службы не менее 8 лет. Датчики выполнены на основе микроплёночного платинового термометра с номинальным сопротивлением 100 Ом и заключены в герметичный корпус из нержавеющей стали. Измеренное значение электрического сопротивления на пульте измерения температуры (ПИТ) почвы преобразуется на цифровом индикаторе термометра. На рис. 4.12 представлен общий вид термометра АМТ-2.

Весь комплекс действий по выбору места и установке термометра АМТ-2 на метеорологической площадке или на наблюдательном участке среди посевов, порядок выполнения измерений и оформление результатов измерений изложены в РД 52.33.632–2002.

**Электронно-цифровой термометр УМКТ-1(А).** В последние годы на метеорологические и агрометеорологические станции Росгидромета поступает электронно-цифровой термометр УМКТ-1(А). Этот термометр предназначен для измерения срочной температуры почвы в весенне-летний период в пахотном слое на глубинах



Рис. 4.12. Общий вид термометра АМТ-2:

- 1 – пульт измерения температуры (ПИТ); 2 – датчик температурный шуп (ДТШ); 3 – датчик температурный стационарный (ДТС)



5 и 10 см и в осенне-зимний период на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав, которая в среднем равна 3 см. Термометр состоит из пульта измерения температуры (ПИТ), двух стационарных закладных (в почву) датчиков температуры стационарных (ДТС) и одного датчика-щупа температуры (ДТЩ), в которых температура почвы преобразуется в пропорциональное ей значение электрического сопротивления (рис. 4.13 и 4.14).

Термопреобразователь выполнен в виде катушки из тонкой медной или платиновой проволоки на каркасе из изоляционного материала, заключённой в защитную гильзу. Термопреобразователи сопротивления характеризуются двумя параметрами:  $R_0$  – сопротивлением датчика при 0 °С и  $W_{100}$  – отношением сопротивления датчика при 100 °С к его сопротивлению при 0 °С. Измеренное значение электрического сопротивления почвы преобразуется в значение температуры почвы, которое отображается на цифровом индикаторе термометра. В качестве датчика используется термопреобразователь сопротивления медный (ТСМ) или

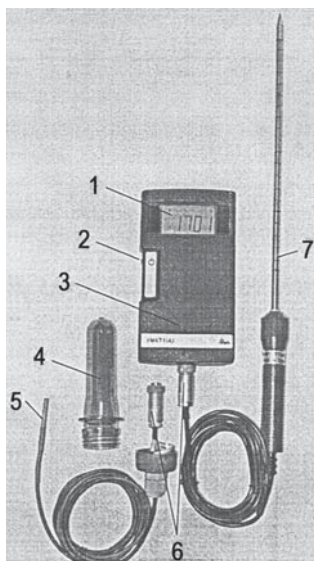


Рис. 4.13. Общий вид термометра-щупа УМТК-1(А):

- 1 – цифровой индикатор; 2 – кнопка включения/выключения;
- 3 – пульт измерения температуры (ПИТ); 4 – защитный корпус разъёма;
- 5 – датчик температуры стационарный (ДТС); 6 – разъёмы датчика;
- 7 – датчик-щуп температуры

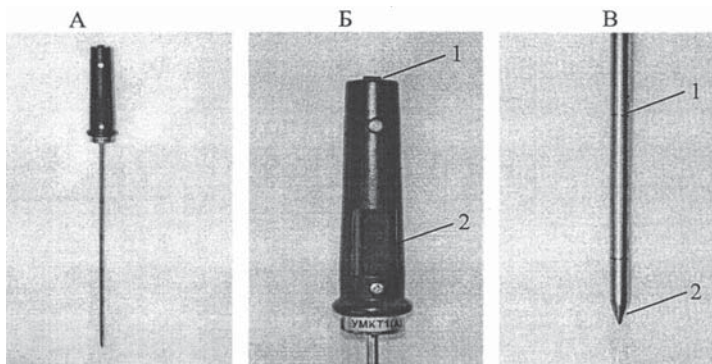


Рис. 4.14. Термометр-щуп цифровой УМКТ-1(А):

А – общий вид; Б – корпус (1 – кнопка включения питания, 2 – экран отсчётного устройства), В – зонд (1 – обозначение глубины погружения датчика, 2 – датчик)

платиновый (ТСП), тип датчика выбирается перемычками SO – S3. Перемычки находятся в батарейном отсеке на печатной плате.

Место установки датчиков на наблюдательном участке выбирают согласно «Наставлению...», 2000 г., вып. 11, кн. 2 (Приложение 29, пункт 29.5.1). На каждом наблюдательном участке устанавливают по два датчика. На месте установки датчиков должна быть посеяна озимая зерновая культура или многолетняя трава из семейства бобовых. Установка датчиков в почву производится согласно «Наставлению...», 2000 г., вып. 11, кн. 2 (Приложение 29, п. 29.5.2). Одновременно с установкой датчиков возле каждого из них устанавливают снегомерную рейку ГРУ-002-03 или ГРУ-002-04. Установку выполняют согласно «Наставлению...», 2000 г., вып. 11 (Приложение 29, п. 29.5.4).

Весной, после оттаивания почвы, датчики извлекают из почвы, промывают и просушивают, проводят внешний осмотр кабелей и проверку точности измерений согласно «Наставлению...», 2000 г., вып. 11 (Приложение 29, п. 29.8).

Измерение температуры пахотного слоя производят датчиком-щупом (ДТЩ), который подключают через разъём, расположенный в нижней части измерительного ПИТ. Для этого присоединяют к ПИТ датчик-щуп, заглубляют его в почву на глубину 5 и 10 см, выдерживают 5 мин. Далее производят отсчёт показаний на цифровом индикаторе термометра; результаты наблюдений за температурой почвы пахотного слоя записывают в таблицу 101 книжки КСХ-1м согласно «Наставлению...», 2000 г., вып. 11, кн. 1, пп. 7; 2; 8.

Для измерения температуры почвы на глубине залегания узла кущения зерновых культур и многолетних трав (3 см) выполняют следующие действия:

- для измерения срочной температуры почвы в помещении проверяют работоспособность термометра;
- на первой повторности наблюдательного участка снимают чехол с разъёма датчиков (ДТС) и подсоединяют датчик к пульту;
- с левой стороны пульта нажимают кнопку включения питания и производят отсчёт температуры по цифровому индикатору;
- нажатием кнопки с левой стороны пульта выключают питание, экран индикатора погаснет;
- датчик отсоединяют от пульта и зачехляют разъём датчика.

Далее производят измерение высоты снежного покрова по снегомерной рейке, согласно «Наставлению...», 2000 г., вып. 11, кн. 1. п. 9.3.3.5. Результаты измерений с точностью до первого знака после запятой записывают в табл. 202 книжки КСХ-2м согласно «Наставлению...», 2000 г., вып. 11, кн. 1. п. 9.2.6.4. Далее переходят на вторую повторность и повторяют аналогичные измерения и их запись.

#### **4.4. Современные средства измерения температуры почвы на глубинах (АМТ-5)**

В программу метеорологических и агрометеорологических наблюдений на сети станций Росгидромета традиционно включены измерения температуры пахотного горизонта почвы коленчатыми термометрами Савинова. Кроме того, для этих же целей используются вытяжные почвенно-глубинные термометры, которые измеряют температуры почвы на глубинах: 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4, 3,2 м. Трудоёмкость отсчётов по этим термометрам, связанная с необходимостью извлечения каждой штанги с термометром в любую погоду, общеизвестна. Кроме того, в процессе подъёма штанги с больших глубин высока вероятность механического повреждения термометров (и штанги, особенно в ветреную погоду), а также вносится погрешность в их показания за счёт разности температур в глубоких горизонтах и в воздухе.

В ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета разработан, испытан и начато внедрение на сети станций нового **почвенного термометра АМТ-5** (рис. 4.15).

Этот термометр создан для замены коленчатых Савиновских и вытяжных почвенно-глубинных термометров и предназначен для проведения автоматических измерений температуры почвы



Рис. 4.15. Автоматический почвенный термометр АМТ-5:  
а) – общий вид; б) – датчики температуры

на стандартных 7 глубинах в метеорологических наблюдательных подразделениях. Новый термометр АМТ-5 позволяет:

- заменить морально устаревшие почвенно-глубинные термометры;
- повысить точность, надёжность и оперативность измерений;
- облегчить труд наблюдателей, особенно в осенне-зимний период.

Температурные датчики вставляются в трубу, в которой находятся на заданной глубине; при этом их извлечение для съёма показаний не требуется.

Разработана конструкторская документация и датчики термометров в двух вариантах: первый – с передачей в автоматическом режиме данных измерений температуры по каналу проводной связи (до 800 м) в пульт приёма информации и дальнейшего считывания в персональный компьютер; второй – с передачей данных по сотовому каналу связи через GSM-модем на FTR-сервер сети Интернет. Разработан блок измерения и регистрации (БИР) и его питания. Разработаны программное обеспечение термометров, эксплуатационная документация, методы и средства поверки термометров. Диапазон измерения температуры: от  $-60$  до  $+70$  °С; предел допустимой абсолютной погрешности измерения в диапазоне температур от  $-30$  до  $+40$  °С  $\pm 0,1$  °С; срок автономной работы термометра при периодичности 3 ч не менее 1 года. Почвенный термометр АМТ-5 сертифицирован и внесён в Государственный реестр средств измерения. Этот прибор успешно эксплуатируется в Международной обсерватории Тикси, на метеостанциях «Ростов» и «Ярославль» Центрального УГМС. Внедрение этого термометра продолжается на наблюдательной сети Росгидромета.

#### 4.5. Измерение глубины промерзания почвы

**Мерзлотомер Данилина МД-50 (АМ-21-1).** Мёрзлая почва характеризуется температурой ниже нуля градусов, при которой она становится каменно-твёрдой и не поддаётся обработке. Глубина промерзания почвы зависит от: суровости и продолжительности зимнего периода; высоты снежного покрова, механического состава и тепловых свойств почвы, степени её увлажнения; наличия и состояния растительности. Глубину промерзания и оттаивания почвы определяют по замерзанию дистиллированной воды в резиновой трубке (1) длиной 150 см с нанесёнными на ней делениями в см. Трубка помещается в водонепроницаемую эбонитовую или карболитовую трубу (5). Снизу трубка закрыта пробкой; верхний конец трубки присоединяют с помощью шнура (2) пластиковой штанги к колпачку (4) с кольцом, плотно закрывающим защитную трубу. На шнур надеваются теплоизоляционные пробки, так называемые гильзы (3) (рис. 4.16).

При заполнении трубки дистиллированной водой через верхнее отверстие необходимо следить, чтобы в неё не попал воздух. Мерзлотомер устанавливают в почву на метеорологической площадке за одну-две декады до наступления первых заморозков в 2–3 м от датчиков термометра АМ-2М-1. Для этого почвенным буром проделывают скважину до глубины 150 см, затем в неё опускают защитную трубу таким образом, чтобы ноль на шкале трубы совпал с уровнем поверхности почвы. Все пространство между трубой и стенками скважины тщательно засыпают землёй. Надземную часть трубы укрепляют растяжками. Только после этого в трубу опускают резиновую трубку, заполненную водой и связанную шнуром с колпачком.

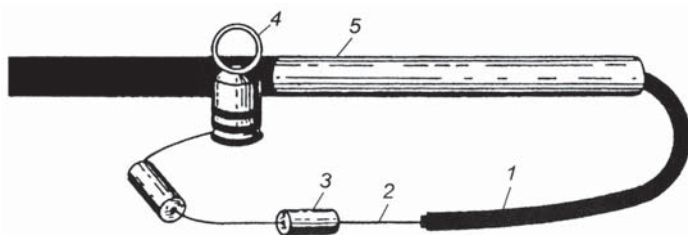


Рис. 4.16. Общий вид мерзлотомера Данилина МД-50 (АМ-21-1):

- 1 – резиновая трубка с ниппелями на концах; 2 – шнур; 3 – гильза;
- 4 – колпачок с кольцом; 5 – защитная эбонитовая трубка (с заглушкой)

При отсчёте наблюдатель, стоя на скамейке, вытаскивает за кольцо резиновую трубку, прощупывает её, устанавливает длину столбика замерзшей воды и глубину её нахождения, затем опять опускает трубку в защитную трубу. Наблюдения по мерзлотомеру ведут с поздней осени до весны, до полного оттаивания почвы.

Описанный мерзлотомер прост, доступен и широко распространён, но измеряет он не глубину промерзания почвы и грунта, а проникновение в почву изотермы нулевой температуры. Во время измерения глубины промерзания почвы отмечают также высоту снежного покрова.

### Задание

Изобразить графически годовой ход температуры поверхности почвы по данным метеостанции г. Калуги

Месяц	1	2	3	4	5	6
Температура, °С	-9,4	-9,4	-4,5	4,5	13,6	19,0
Месяц	7	8	9	10	11	12
Температура, °С	20,3	17,8	11,1	4,4	-2,6	-6,8

По оси ( $x$ ) дать время (месяц), по оси ( $y$ ) – температуру почвы.

### Контрольные вопросы

1. Как изменяется температура поверхности почвы в течение суток и года? Что такое суточная и годовая амплитуда температуры?
2. Как влияют экспозиции склонов, растительный и снежный покров на температуру почвы?
3. Какие приборы и методы применяют для измерения температуры почвы?
4. Как изменяется амплитуда температурных колебаний с глубиной?
5. Где практически применяются данные о температуре почвы?
6. Расскажите о современных приборах измерения температуры почвы на поверхности почвы и на глубине залегания узла кущения и корневой головки многолетних трав.
7. На каких глубинах измеряют температуру почвы коленчатыми термометрами Савинова и глубинными термометрами АМТ-5?
8. Как устроен мерзлотомер Данилина, с какой целью измеряют глубину промерзания почвы?

## Глава 5

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Основным источником нагревания тропосферы, особенно её нижних слоёв, является тепло деятельной поверхности Земли. В дневные часы при положительном радиационном балансе поверхность суши становится теплее воздуха, и тепло от неё передается воздуху. Ночью вследствие эффективного излучения земная поверхность становится холоднее воздуха и охлаждает прилегающие к ней слои атмосферы. Теплообмен между атмосферным воздухом и окружающей средой осуществляется путём *теплопроводности, испарения с последующей конденсацией* или *кристаллизацией* водяного пара и турбулентности.

Режим температуры воздуха и корнеобитаемых горизонтов почвы является одним из основных и незаменимых факторов среды обитания растений и животных. Режим этой температуры в сочетании с условиями увлажнения определяет интенсивность физиологических процессов (фотосинтез, дыхание, транспирация) в растениях и окислительных процессов (разложение органических веществ) в верхних горизонтах почвы. В конечном итоге эти процессы определяют рост, развитие и формирование продуктивности растений, а также условия жизнедеятельности животных.

Температура воздуха измеряется различными видами термометров.

#### Приборы и методы измерения температуры воздуха

На метеорологических станциях для измерения температуры воздуха используются термометры, установленные постоянно в психрометрических будках на стандартной высоте 2 м<sup>1</sup> (рис. 5.1).

---

<sup>1</sup> В некоторых странах мира (Венгрия, Эфиопия и др.) на метеорологических станциях за стандартную высоту измерения температуры воздуха в таких будках принято 150 см.





Рис. 5.1. Общий вид психрометрической будки с лестницей для наблюдателя

Влияние солнечной радиации на температурный режим термометра исключается радиационной защитой психрометрической будки. Используются три вида термометров: психрометрический сухой (срочный), максимальный и минимальный. При установке будку ориентируют дверцей на север (в Северном полушарии), а в Южном полушарии – наоборот. Это делают для исключения попадания прямых солнечных лучей на термометры. Для проведения наблюдений в тёмное время суток в будке предусмотрена подсветка маломощными лампами накаливания ( $\leq 25$  Вт).

#### **Психрометрический термометр (ТМ-4).**

Этот сухой (срочный) термометр размещается в психрометрической будке и является составной частью станционного психрометра Августа, служащего для измерения температуры и влажности воздуха (рис. 5.2).

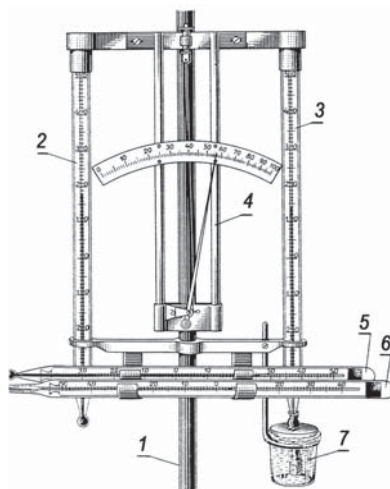


Рис. 5.2. Слева – общий вид установки психрометра Августа внутри психрометрической будки. Справа – психрометр Августа и его составные части:

- 1 – штатив, на котором крепятся вертикально два психрометрических термометра: слева – сухой (2); справа – смоченный термометр (3);
- максимальный (5) и минимальный (6) термометры; между двумя психрометрическими термометрами при помощи винтов укреплен волосной гигрометр (4);
- к нижней перекладине штатива прикреплено кольцо, в которое вставляется стаканчик с водой (7)



Психрометрические термометры применяются в паре, составляющие психрометр, который служит одновременно для определения и температуры, и влажности воздуха. Методы измерения влажности воздуха описаны в главе 6.

По сухому психрометрическому термометру определяют температуру воздуха в срок наблюдения. Диапазоны измерения срочными термометрами: от  $-35$  до  $40$  °С (ТМ-4-1) и от  $-25$  до  $50$  °С (ТМ-4-2). Срочный термометр – это абсолютный прибор для измерения температуры воздуха (рис. 5.3).

Сухой (срочный) ртутный термометр с шаровидным резервуаром имеет цену деления  $0,2$  °С. В условиях неподвижного воздуха его инерция составляет около 5 мин. Этот термометр устанавливается в будке в вертикальном положении для измерения температуры воздуха в момент срока наблюдения. Для этого в верхней части термометра на стеклянной оболочке укреплен металлический колпачок.

Максимальный и минимальный термометры устанавливают в будке горизонтально (рис. 5.2). Максимальный и минимальный термометры располагают резервуарами к востоку на специальные дугообразные лапки, прикреплённые к нижней перекладине штатива. Максимальный термометр устанавливают в верхней паре лапок с небольшим наклоном в сторону резервуара, а минимальный – в нижней паре лапок – горизонтально.

Описание максимального и минимального термометров приведено в главе 4.

Максимальный и минимальный термометры, а также суточный и недельный термографы, предназначенные для непрерывной регистрации температуры воздуха, являются относительными приборами.

*Измерения.* Открыв дверцу будки, быстро отсчитывают сначала десятые доли, а потом целые градусы по сухому термометру ТМ-4 с точностью до  $0,1$  °С. Потом также отсчитывают показания по

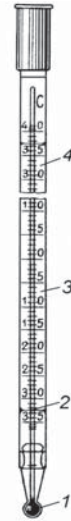


Рис. 5.3.

Психрометрический термометр ТМ-4:

- 1 – резервуар; 2 – капилляр;
- 3 – шкала; 4 – стеклянная оболочка

смоченному термометру. Затем записывают данные температуры по максимальному и минимальному термометрам (положение штифта) с такой же точностью. После отсчёта по *максимальному термометру* (см. глава 4, рис. 4.3) его встряхивают, подготавливая его таким образом к следующему сроку наблюдения. После встряхивания этот термометр должен показывать температуру, близкую к показаниям сухого психрометрического термометра. Записав показания термометра «до» и «после» встряхивания, его устанавливают на прежнее место.

**Минимальный термометр ТМ-3** (см. главу 4, рис. 4.4) применяют для измерения самой низкой температуры за период между сроками наблюдений. Особенность устройства этого термометра заключается в том, что внутрь капилляра закладывается маленький штифт из тёмного стекла. При понижении температуры поверхностная пленка мениска движется в сторону резервуара и перемещает за собой штифт. При повышении температуры спирт, расширяясь, свободно обтекает штифт, который остаётся на месте, указывая удалённым от резервуара концом минимальную температуру между сроками наблюдения. После записи измерения термометр держат резервуаром вверх для подведения штифта к мениску спирта. После этого, держа термометр горизонтально, укладывают его на кронштейн, подготавливая его для следующего наблюдения. При обработке наблюдений в показаниях всех трёх термометров вводят шкаловые поправки из Поверочных свидетельств термометров.

На метеорологических станциях и в экспедициях наиболее широко применяются приборы, с помощью которых автоматически ведётся непрерывная запись изменений метеорологических величин – самопишущие приборы.

**Термограф метеорологический с биметаллическим элементом М-16 АС** (рис. 5.4 и 5.5). Этот термограф служит для непрерывной записи температуры воздуха. Он состоит из трёх основных частей: приёмной, передающей и регистрирующей.

*Приёмная часть* – это биметаллическая пластинка (1), изготовленная из металлов с различным термическим коэффициентом линейного расширения. Один конец этой пластинки закреплён неподвижно к колодке (2), находящейся на наружной стенке корпуса. Другой конец остаётся свободным и при изменении температуры может перемещаться.

*Передающей частью* является система рычагов. К свободному концу биметаллической пластинки прикреплён рычаг (3), который

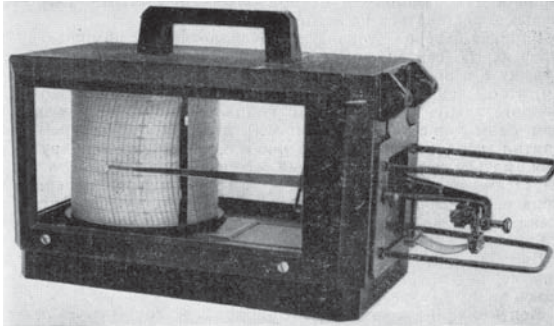


Рис. 5.4. Общий вид термографа М-16 АС

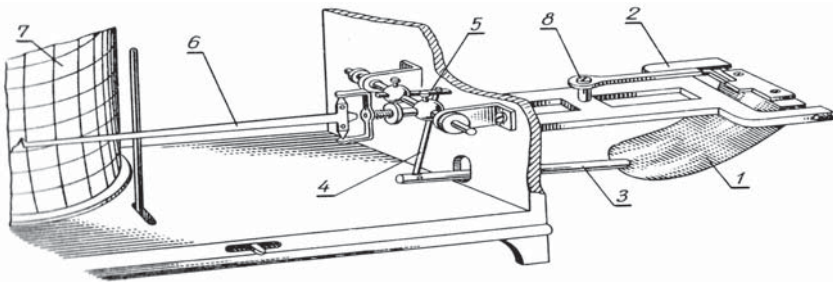


Рис. 5.5. Механизм термографа М-16 АС

соединён тягой (4) с рычагом (5) коленчатого вала. Вторым рычагом коленчатого вала является стрелка (6), заканчивающаяся пером в форме небольшой пирамиды, вершина которой обращена к барабану (7). Перо заполняется специальными чернилами с примесью глицерина. Поэтому чернила медленно сохнут и не замерзают при отрицательной температуре.

*Регистрирующая часть* термографа – барабан (7) с часовым механизмом внутри. Благодаря часовому механизму барабан вращается вокруг неподвижной оси, укрепленной на основании корпуса. Различают термографы суточные и недельные, имеющие различную скорость вращения и различные ленты. На барабане закрепляют специальную бумажную ленту.

Параллельные горизонтальные линии на ней соответствуют температуре воздуха в целых градусах, вертикальные линии на ленте соответствуют времени в часах. На ленте суточного термографа каждое деление соответствует 15 мин, недельного – 2 часа (рис. 5.6).

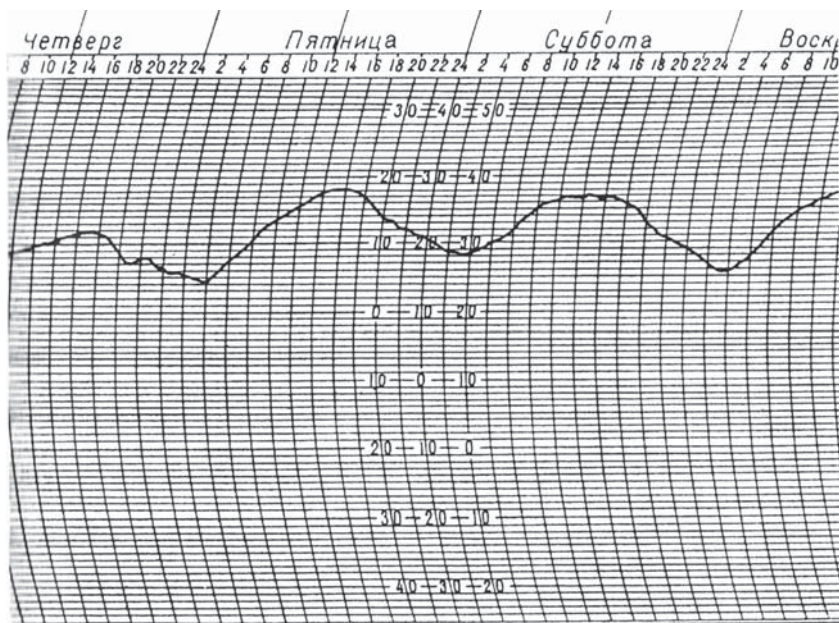


Рис. 5.6. Фрагмент записи динамики температуры на недельном термографе

Перед установкой термографа часовой механизм заводят с помощью ключа до отказа, на барабан накладывают ленту и закрепляют её специальной плоской пружиной, после чего барабан надевают на неподвижную ось корпуса. Установку пера на время производят поворотом барабана вокруг неподвижной оси, а на температуру – изменением положения биметаллической пластинки с помощью винта (8) (рис. 5.5).

Термограф считается относительным прибором, поэтому его показания (на ленте) сравнивают с показаниями абсолютного прибора – психрометрического (сухого) термометра. При смене лент на лицевой стороне ленты отмечают время окончания записи, а на новой ленте – фактическое время начала записи. На обратной стороне ленты записывают название станции, номер прибора, дату наложения и снятия ленты (год, месяц, число) и время начала и конца записи с точностью 1 мин. Ленты сменяют около 12 ч по Московскому времени, т. е. около 9 ч по Гринвичу. Устанавливают термограф на нижней доске психрометрической будки, которая используется для самописцев. На ленте суточного термографа

через каждые три часа в момент срочных наблюдений делают засечки нажатием специальной кнопки, находящейся с правой стороны коробки прибора. Замену лент производят сотрудники станции в такой же последовательности, которая применяется и для других самописцев – гигрографов, барографов и др.

*Обработка ленты термографа.* На суточной ленте записывают ежечасные показания термографа с точностью до 0,1 °С. Затем против меток, сделанных в «срочные» часы наблюдений, пропуская одну строчку, записывают показания психрометрического термометра (сухого). Разница между показаниями термографа и психрометрического термометра представляет собой поправку в «срочные» часы наблюдений. Записывают её между снятыми показаниями термографа и психрометрического термометра. Например, поправка в 12 ч была -0,4 °С, в 18 ч стала 0,2 °С. За 6 ч работы поправка изменилась на 0,6 °С (от -0,4 до 0,2), а за 1 ч – на 0,1 °С (0,6 : 6). Зная изменения поправки за 1 ч, можно рассчитать значение поправок для каждого часа. В этом примере получаются следующие величины:

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

Алгебраически суммируя поправку с показаниями термографа в соответствующие часы, получают исправленные значения температуры по термографу. Аналогичная работа выполняется по всей ленте.

### Задание

Изобразить графически годовой ход температуры воздуха по данным метеорологической станции г. Калуга. Выделить месяцы с температурой выше 0, 5 и 10 °С.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средняя температура, °С	-8,9	-8,6	-3,6	5,2	12,3	16,3	17,6	16,1	10,8	4,8	-2,1	-6,2

### Контрольные вопросы

1. Расскажите о принципе действия максимального термометра.
2. Каковы особенности устройства минимального термометра?
3. Расскажите о порядке установки термометров в психрометрической будке.
4. Где устанавливают термометры для измерения температуры воздуха?
5. С какой целью устанавливают термограф, как он устроен?
6. Объясните правила работы с термографом.

## Глава 6

# ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

### 6.1. Определение величин влажности воздуха

Одной из физических характеристик водяного пара в атмосфере является *влажность воздуха*. Количество водяного пара в воздухе является важнейшей характеристикой погоды, климата и среды обитания растений. От величины температуры и влажности воздуха зависит интенсивность испарения с поверхности почвы и транспирации растений. Низкое содержание водяного пара в воздухе содействует развитию засушливых явлений, а в сочетании с ветром – суховеев. Низкие величины влажности воздуха используются в комплексной метеорологической оценке пожароопасности лесов и торфяников в России. Высокая влажность воздуха способствует развитию вредителей и болезней в посевах возделываемых культур.

Содержание водяного пара в воздухе оценивается многими показателями (величинами): абсолютной и относительной влажностью, упругостью водяного пара, точкой росы, дефицитом влажности и др.

*Абсолютная влажность* ( $a$ ) – это количество водяного пара в граммах, содержащаяся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха ( $\text{г}/\text{м}^3$ ), вычисляется по формуле

$$a = 0,8e/1 + \alpha t, \quad (6.1)$$

где  $e$  – парциальное давление (упругость) водяного пара, гПа;  $\alpha$  – объёмный коэффициент теплового расширения газов, равный  $0,004 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $t$  – температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

*Парциальное давление водяного пара* ( $e$ ) – давление (гПа), которое имел бы водяной пар, находящийся в воздухе, если бы он занимал объём, равный объёму воздуха при той же температуре; вычисляется по психрометрическим формулам Августа. Если на батисте смоченного термометра вода, то

$$e = E'_e - Ap(t - t'), \quad (6.2)$$

если лёд, то

$$e = E'_{\text{л}} - Ap(t - t'), \quad (6.3)$$

где  $E'_e$  и  $E'_{\text{л}}$  – давления насыщенного водяного пара над поверхностью воды и льда, соответственно, взятые по показанию смоченного термометра  $t'$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), гПа;  $t$  и  $t'$  – показания сухого и смоченного термометров,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $p$  – атмосферное давление (гПа);  $A$  – психрометрический коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха у резервуара смоченного психрометра. Для стационарного психрометра  $A = 0,008 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , для аспирационного психрометра  $A = 0,007 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

*Относительная влажность воздуха ( $f$ )* – отношение парциального давления водяного пара  $e$  (гПа) к давлению насыщенного водяного пара  $E$  (гПа), при данных температуре и давлении, выраженное в процентах

$$f = (e/E) \cdot 100 \%. \quad (6.4)$$

При одном и том же парциальном давлении водяного пара относительная влажность воздуха может быть различной. Например, при парциальном давлении 12,0 гПа и температуре  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  относительная влажность составляет 98 %, а при том же парциальном давлении, но при температуре  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – только 28 %. Следовательно, при неизменном парциальном давлении водяного пара с понижением температуры воздуха его относительная влажность увеличивается, а с повышением температуры – уменьшается.

*Точка росы ( $t_d$ )* – это температура, при которой воздух достигает состояния насыщения (по отношению к воде) при данном содержании водяного пара и неизменном атмосферном давлении:  $E = e_{td}$ .

При относительной влажности меньше 100 % точка росы всегда ниже фактической температуры воздуха; разность этих температур тем больше, чем меньше относительная влажность; поэтому, чтобы довести температуру воздуха до точки росы, воздух нужно охладить. При насыщении, т. е. при относительной влажности воздуха  $f = 100 \%$ , фактическая температура совпадает с точкой росы, например при температуре воздуха  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$f, \%$	100	80	60	40
$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	15	11,6	7,3	1,5

*Дефицит насыщения водяного пара или недостаток насыщения ( $d$ , гПа)* – это разность между парциальным давлением насыщенного водяного пара над водой  $E$  (как при положительной,



так и при отрицательной температуре) и фактическим парциальным давлением (упругостью) водяного пара во влажном воздухе  $e$

$$d = E - e. \quad (6.5)$$

## 6.2. Приборы для измерения влажности воздуха

**Стационарный психрометр** состоит из двух психрометрических термометров, установленных на штативе в психрометрической будке, левый – сухой, правый – смоченный, с помощью батиста, которым обвязывают резервуар термометра; нижняя часть батиста опущена в стаканчик с дистиллированной водой (см. глава 5, рис. 5.2). Стаканчик устанавливается в кольцо держателя таким образом, чтобы закрывающая его крышка находилась на 2–3 см ниже резервуара термометра. При этом обеспечивается поступление воды к поверхности резервуара по батисту и в то же время создается возможность свободного обмена воздуха у резервуара. Крышка стаканчика имеет прорезь, позволяющая снимать её, не вытягивая конец батиста из воды. Батист должен плотно прилегать к резервуару термометра и покрывать его в один слой. Края батиста могут заходить друг за друга не более чем на  $\frac{1}{4}$  резервуара. Нужно следить за тем, чтобы батист всегда был чистым, мягким и влажным. Батист термометра должен быть хорошо смочен за 10–15 мин до отсчёта. Отсчёты по термометрам должны выполняться быстро.

Для измерения влажности воздуха применяют также *психрометрический* и *сорбционный* методы. *Психрометрический метод* основан на зависимости интенсивности испарения с водной поверхности от дефицита влажности соприкасающегося с ней воздуха. Этот метод практически реализуется косвенным определением интенсивности испарения путём измерения понижения температуры тела, с поверхности которого происходит испарение, за счёт затраты тепла на испарение воды. *Сорбционный метод* на наблюдательной сети практически не применяется, он используется в основном в исследовательских работах.

*Влажность воздуха* определяется по разности показаний двух одинаковых психрометрических термометров – сухого и смоченного. С поверхности резервуара смоченного термометра происходит испарение воды. Чем суше воздух, тем интенсивнее испарение с резервуара смоченного термометра и тем ниже его показания по сравнению с сухим термометром. Парциальное давление водяного пара вычисляется по психрометрическим формулам Августа (6.2 и 6.3).



На метеорологических станциях вычисление влажности воздуха производится при помощи Психрометрических таблиц (издания 1972 и 1976 гг.).

*Пример*

Даны:  $t = 10,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t' = 4,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p = 1020,0 \text{ гПа}$ ; Найти:  $e$ ,  $E$ ,  $d$ ,  $t_d$ .

Вычислим психрометрическую разность  $t - t' = 10,8 - 4,1 = 6,7$ . Затем по табл. За «Психрометрической таблицы» находим поправку  $de = 0,10 \text{ гПа}$ , а по таблице 2, зная  $t$  и  $t'$ , — значение  $e = 2,8 \text{ гПа}$ . Введём в найденное значение  $e$  поправку  $de$ :  $e = 2,8 - 0,10 = 2,7 \text{ гПа}$ . В той же таблице 2 для температуры  $t = 10,8 \text{ }^\circ\text{C}$  в колонке находим  $e = 2,7 \text{ гПа}$  и выписываем из этой строчки значения  $t_d = -10,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $f = 21 \text{ \%}$ ;  $d = 10,2 \text{ гПа}$ . Далее по таблице 5 («Психрометрических таблиц») находим, что  $E = 12,9444 \text{ гПа}$ .

**Психрометры аспирационные.** Известно несколько моделей аспирационных психрометров. Они являются надёжными приборами для определения температуры и влажности воздуха при положительной температуре воздуха. На рис. 6.1 представлен аспирационный психрометр большой модели.

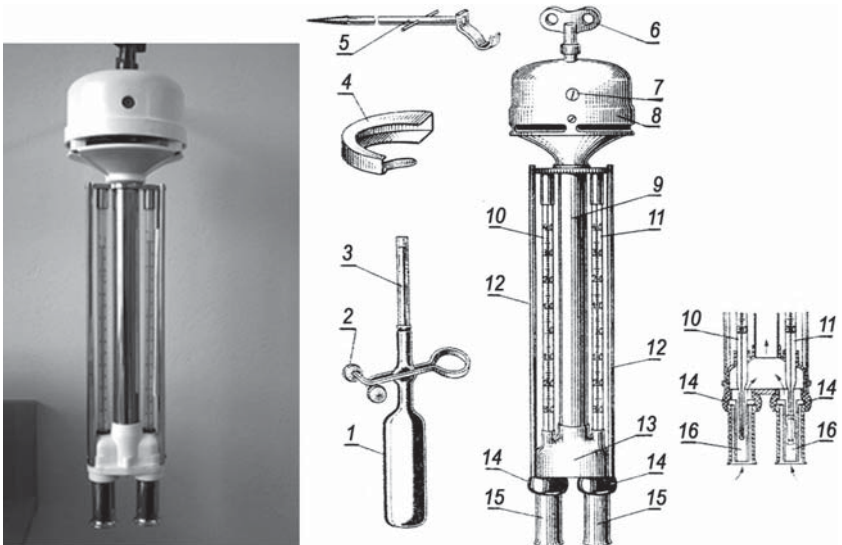


Рис. 6.1. Аспирационный психрометр МВ-4М:

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

Физический принцип действия этих психрометров такой же, как и стационарного, но они содержат аспирационное устройство, обеспечивающее протяжку воздуха у резервуаров термометров с постоянной скоростью 2 м/с. Это практически исключает влияние скорости наружного ветра на показания психрометра. Однако при скоростях ветра более 3 м/с необходимо с наветренной стороны одевать на аспиратор психрометра специальную скобу – ветровую защиту.

Для измерения влажности воздуха в экспедиционных (походных) условиях, в посевах, среди естественных травостоях и т. п. используют *аспирационный психрометр*, принцип действия которого аналогичен станционному. Аспирационный психрометр состоит из двух одинаковых психрометрических термометров ТМ-6 (10) и (11) с резервуарами цилиндрической формы. Термометры располагаются в никелированном корпусе. Резервуар смоченного термометра обвязан батистом, обрезанным непосредственно под резервуаром. Термометры закреплены в оправе, состоящей из трубки (9), переходящей в тройник (13), и защитных планок (12). К тройнику с помощью изоляционных пластмассовых втулок (14) присоединены двойные трубки (15) и (16), в которых находятся резервуары термометров. Чтобы уменьшить теплопередачу от наружных трубок, внутренние трубки в верхней части опираются на наружные через изоляционные кольца. Двойные трубки обеспечивают защиту резервуаров от нагревания солнечными лучами. Верхний конец трубки (9) соединён с головкой аспиратора (8), обеспечивающего всасывание наружного воздуха и обтекание его вокруг резервуаров термометров со скоростью 2 м/с. Пружина аспиратора заводится ключом (6). Смачивание батиста производится из резиновой груши (1) со стеклянной пипеткой (3) и зажимом (2); груша наполняется дистиллированной водой. Для установки психрометра прилагается крюк-подвес (5). Для правильной работы психрометра необходимо следить за чистотой батиста и менять его по мере загрязнения.

В стационарных условиях прибор подвешивают на специальном столбе (резервуары термометров должны находиться на высоте 2 м). В полевых условиях психрометр подвешивают на тонком шесте, закреплённом в почве, или кладут горизонтально на специальную подставку. При горизонтальной установке прибора необходимо следить, чтобы прямые солнечные лучи не попадали на резервуары термометров. Высота установки психрометра среди растений может быть различной и зависит от цели наблюдений.

Для проведения измерений аспирационный психрометр выносят на место измерений зимой за 30 мин, а летом – за 15 мин до начала наблюдений, смачивают батист дистиллированной водой из резиновой груши зимой за 30 мин, летом – за 4 мин до отсчёта. Для смачивания, ослабив зажим (2), поднимают воду из груши в стеклянную пипетку (3) до указанной на ней черты и осторожно вводят пипетку на 3–5 с в трубку, в которой находится резервуар смоченного термометра. Затем воду из пипетки спускают и пипетку вынимают из трубки. После этого ключом (6) заводят до отказа пружину аспиратора. Так как во время отсчёта аспиратор должен работать полным ходом, то зимой (за 4 мин до отсчёта) пружину аспиратора заводят вторично. Отсчёты производят быстро. Сначала отсчитывают десятые доли сухого и смоченного термометров, а потом целые градусы, и показания записывают в книге для записей.

Вычисление величин влажности воздуха по показаниям аспирационного психрометра выполняется так же, как и по показаниям стационарного. Только при определении парциального давления водяного пара в психрометрических формулах подставляют психрометрический коэффициент  $A = 0,000662$ . Относительную влажность и дефицит насыщения рассчитывают по формулам (6.2), (6.3), а точку росы определяют по табл. 3, 4 Приложения 2. В «Психрометрических таблицах» величины влажности воздуха по данным аспирационного психрометра определяются так же, как и по данным стационарного психрометра. Разница состоит в том, что поправка к парциальному давлению водяного пара на атмосферное давление и скорость аспирации определяется по табл. 4а, 4б или 4в (Приложение 2) в зависимости от разности показаний сухого и смоченного термометров. Поправка к парциальному давлению водяного пара всегда положительная, например:  $t = 24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t' = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p = 1010 \text{ гПа}$ .

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

Вычисление влажности по психрометрическому термометру по формуле Августа (6.2; 6.3) производится редко. На практике

вычисляют влажность воздуха по фактически измеренным величинам  $t$  и  $t'$  по Приложению 2, аналогично описанным выше применительно к стационарным психрометрам.

Помимо психрометров влажность воздуха измеряют *гигрометрами* (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Гигрометр волосной

*Гигрометр волосной* предназначен для измерения относительной влажности воздуха в пределах от 30 до 100 %. При температуре воздуха ниже  $-10$  °С он является основным прибором для измерения влажности воздуха.

Гигрометр волосной состоит из металлической рамы (1), вдоль которой натянута обезжиренный человеческий волос (2). Свободный нижний конец волоса с лёгким грузом перекинут через шкив (3), соединённый со стрелкой (4), которая перемещается по шкале. На раме укреплена шкала с делениями (5), по которой в процентах

отсчитывают относительную влажность воздуха. Деления, соответствующие десяткам, оцифрованы. Цена каждого деления шкалы соответствует 1 % относительной влажности. Вверху рамки имеется регулировочный винт (6), который позволяет при проверке прибора устанавливать стрелку на любое деление шкалы.

Принцип действия прибора достаточно прост и основан на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину с изменением влажности воздуха. При уменьшении или увеличении влажности воздуха длина волоса меняется. Удлинение волоса при изменении относительной влажности воздуха от 0 до 100 % составляет 2,5 % его длины. Поскольку у разных волос эта зависимость варьирует, для прибора отбирают волосы, сходные по технологическим характеристикам, а затем подвергают их специальной химической и механической обработке. Под действием изменения длины волоса шкив поворачивается, и конец стрелки перемещается вдоль шкалы, показывая относительную влажность воздуха в процентах.

Гигрометр устанавливается в психрометрической будке вертикально в лапке универсального штатива между сухим и смоченным термометрами или вешается на стену. Прибор должен находиться на уровне глаз работающего с ним наблюдателя. Сначала проверяют положение стрелки. Если стрелка смещена относительно «0», то при помощи регулировочного винта устанавливают её на «0». При снятии показаний глаз работающего должен находиться на уровне вертикальной касательной к стрелке так, чтобы отметка шкалы в точке отсчёта была видима прямолинейной. Отсчёты по этому прибору делаются в целых делениях его шкалы непосредственно после отсчётов по психрометру. Волосной гигрометр является относительным прибором, но в зимнее время (при температурах воздуха ниже  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) он является основным прибором, по которому определяются влажность воздуха.

В месте установки гигрометра должны отсутствовать вибрации, источники тепла или холода. Работающий с гигрометром должен находиться от него на расстоянии нормальной видимости отметок шкалы и остерегаться дышать на него во время отсчётов.

Гигрометр волосной – прибор относительный, поэтому его показания сравнивают с психрометром. Для этого строят график по ежедневным отсчётам психрометра и волосного гигрометра в течение одного месяца до наступления морозов: по оси абсцисс откладывают относительную влажность по гигрометру, по оси ординат – относительную влажность по психрометру (рис. 6.3). Если данные измерений и состояние гигрометра были удовлетворительными, то все точки, соответствующие влажности воздуха по психрометру и гигрометру, располагаются узкой полосой, среди которых проводят плавную линию с углом наклона к осям координат почти  $45^{\circ}$ . Исправленные значения влажности воздуха при измерениях в зимнее время находят по графику с помощью указанной линии зависимости или по таблице, составленной на основании данных, снятых с графика; такая таблица приведена с правой стороны рисунка 6.3. В этой таблице показания гигрометра даны в левой крайней графе (десятки) и верхней горизонтальной строке (единицы). Исправленное значение влажности воздуха определяется на пересечении десятков и единиц влажности воздуха по гигрометру.

Допустим, отсчёт по гигрометру составляет 69 %. Исправленное значение относительной влажности воздуха (по таблице) будет 66 %. Полученные результаты относительной влажности воздуха также можно использовать для расчёта других характеристик водяного пара:  $E$ ,  $e$ ,  $d$ .

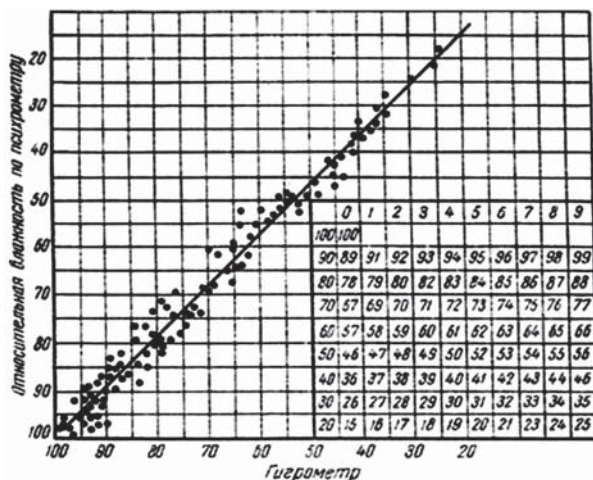


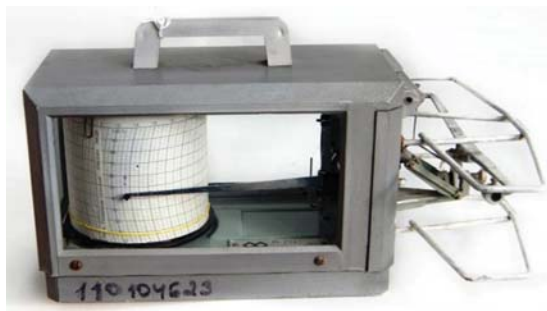
Рис. 6.3. График для приведения показаний гигрометра к показаниям психрометра

Для непрерывной регистрации изменений влажности воздуха используют *гигрографы* – это приборы-самописцы с суточными и недельными барабанами.

**Гигрограф метеорологический М-21А (волосной)** применяется для непрерывной регистрации изменений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 до 100 % при температуре окружающего воздуха от -35 до 45 °С с погрешностью 15 %. Этот самописец (рис. 6.4) состоит также из трёх частей: приёмной, передаточной и регистрирующей. Принцип действия гигрографа основан на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину при изменении относительной влажности воздуха.

Гигрограф состоит из следующих частей: измерительного преобразователя влажности – пучка (35–40 шт.) обезжиренных человеческих волос (1), закреплённых в точках (2) и (3) с помощью эбонитовых втулок на металлическом кронштейне (5); пучок волос оттянут за середину крючком (4), который соединён тягой с рычагом (7). Таким образом, изменение длины волос воспринимается рычагом (7) и передаётся на рычаг (9), соприкасающийся с рычагом (10) второго коленчатого вала. Вторым рычагом этого вала является стрелка (11) с пером на конце. Криволинейные рычаги (9) и (10) скользят один по другому. При такой плавной передаче исключается обрыв волос при случайном нажиме на рычаг (11).

А



Б

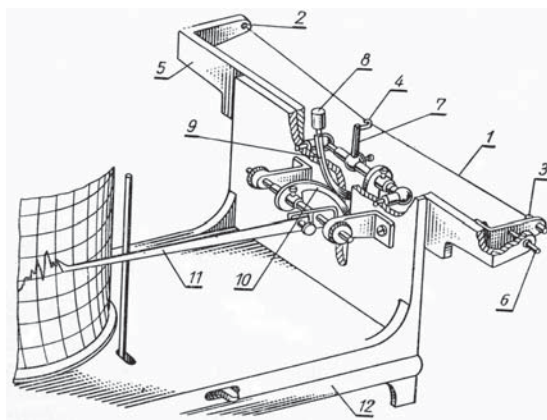


Рис. 6.4. Внешний вид (А) и схема действия гигрографа (Б)

Кроме этого, криволинейные рычаги компенсируют неравномерность удлинения волоса. Благодаря криволинейным рычагам, кривизна которых специально рассчитана, достигается равномерное перемещение пера по ленте при неравномерных изменениях длины пучка с изменением влажности. Пучок волос находится в натянутом состоянии благодаря противовесу (8), которым заканчивается рычаг (9).

*Передаточная часть* представляет собой систему рычагов двух коленчатых валиков. *Регистрирующая часть* состоит из стрелки с пером (4) и барабана с часовым механизмом (7). Концы пучка волос закреплены в специальных втулках, укрепленных на кронштейне (2), который регулируется осью (6). Пучок волос оттянут за середину крючком (3), который при помощи передаточного механизма соединён со стрелкой (4). Цилиндрический противовес удерживает пучок волос в натянутом состоянии.



При изменении влажности воздуха меняется длина пучка волос, что вызывает перемещение стрелки с пером вверх (при увеличении влажности воздуха) или вниз (при уменьшении влажности). Отметки времени производятся нажатием на кнопку, выведенную наружу корпуса. Диаграммный бланк гигрографа (рис. 6.5) разделён горизонтальными параллельными линиями на деления, соответствующие 2 % относительной влажности воздуха, и вертикальными дугообразными линиями – на деления, соответствующие 15 мин времени оборота барабана для суточного гигрографа и 2 ч – для недельного.

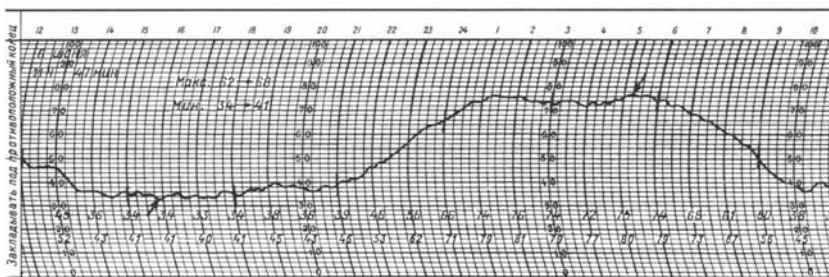


Рис. 6.5. Часть суточной ленты гигрографа с записью

Гигрограф устанавливают в отдельной защитной жалюзийной будке для метеорологических приборов на её верхней полке. Обработка ленты гигрографа производится с помощью графика (рис. 6.3).

**Задание**

Построить график изменения относительной влажности воздуха за год по данным ежемесячных наблюдений метеостанции г. Калуги.

Месяц	1	2	3	4	5	6
Относительная влажность, %	84	81	78	72	67	72

Месяц	7	8	9	10	11	12
Относительная влажность, %	76	78	81	83	86	86

По оси (x) располагается время (месяцы), по оси (y) – значения относительной влажности воздуха.



### Контрольные вопросы

1. Что понимается под влажностью воздуха?
2. Что называют абсолютной влажностью воздуха? В каких единицах её выражают?
3. Что такое упругость водяного пара?
4. Что называют относительной влажностью воздуха? В каких единицах её выражают?
5. Относительная влажность воздуха 70 %, что это значит?
6. Что называют точкой росы? Как рассчитать её величину?
7. Назовите приборы, применяемые для измерения влажности воздуха психрометрическим методом.
8. Назовите приборы, применяемые для измерения влажности воздуха гигрометрическим методом.
9. Опишите принципы действия приборов, применяемых для измерения влажности воздуха.

## Глава 7

# ОБЛАКА И ПОГОДА

### 7.1. Общая характеристика облаков

*Облака* – это взвешенные скопления в атмосфере продуктов конденсации и сублимации водяного пара в форме мельчайших капель и кристаллов. *Конденсацией называется переход водяного пара, находящегося в воздухе, в жидкое состояние.* Этот процесс сопровождается выделением тепла – скрытой теплоты конденсации:

$$L_{\text{конд.}} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} = 597 \text{ кал/г}, \quad (7.1)$$

поскольку 1 кал = 4,19 Дж, следовательно, при конденсации 1 кг водяного пара выделяется  $2,5 \cdot 10^6$  Дж энергии. Конденсация происходит в условиях понижения температуры воздуха ниже точки росы и при наличии в воздухе аэрозолей (ядер конденсации).

*Сублимацией называется процесс перехода воды из газообразного состояния в твёрдое, минуя жидкое,* т. е. происходит непосредственное осаднение льда из влажного воздуха (кристаллов в атмосфере или инея на подстилающей поверхности). Этот процесс сопровождается ещё большим выделением тепла, чем при конденсации. Скрытая теплота сублимации равна

$$L_{\text{субл.}} = 2,84 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} = 677 \text{ кал/г}. \quad (7.2)$$

Для начала процесса сублимации необходимы два условия – понижение температуры воздуха ниже 0 °С (ниже точки инея<sup>1</sup>) и наличие аэрозолей в воздухе.

Отметим, что продуктами сублимации на подстилающей поверхности являются также *иней, изморось и гололёд.* Скопление продуктов конденсации или сублимации в воздухе и у поверхности

---

<sup>1</sup> Точка инея – температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, при неизменном давлении достигает насыщения относительно поверхности льда. Точка инея выше точки росы: например, при точке росы -10 °С превышение составляет на 1,10 °С, а при -30 °С – уже на 2,84 °С.

земли образует различные типы туманов. Известно, что туман осадков не образует, однако в некоторых случаях – при высоком насыщении влагой, в результате конденсации в приземном слое формируются отдельные капли воды, собирающиеся на ветвях деревьев и других наземных предметах.

Облачные элементы – капли воды и кристаллы льда – настолько малы, что их вес (масса) уравнивается силой трения. Скорость падения таких капель в неподвижном воздухе равна нескольким десятым долям сантиметра в секунду, а скорость падения мельчайших кристаллов ещё меньше. Турбулентное движение воздуха в атмосфере поддерживает в облаках капли и кристаллы во взвешенном состоянии в течение длительного времени, при этом они перемещаются в различных направлениях. При определённых условиях часть облачных элементов укрупняются и настолько тяжелеют, что, преодолевая силу трения и энергию восходящих потоков воздуха, в результате они выпадают на землю в виде дождя различной интенсивности. От величины, частоты выпадения и интенсивности осадков зависят условия увлажнения территории, водность рек, формирование запасов снега в горах и высокогорьях.

По фазовому состоянию облачных элементов облака делят на три класса.

*Водяные (капельные) облака*, состоящие только из капель. Они существуют не только при положительных температурах, но и при отрицательных ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже), т. е. когда капли находятся в переохлаждённом состоянии, что характерно для атмосферы.

*Смешанные облака*, состоящие из смеси переохлаждённых капель и ледяных кристаллов, существуют при температурах  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ...  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Ледяные (кристаллические) облака*, состоящие только из кристаллов, существуют при температурах  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже.

В тёплое время года водяные облака формируются главным образом в нижних слоях тропосферы, смешанные облака – в средних её слоях, ледяные – в верхних слоях. Наиболее высокие облака тропосферы при температурах  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ... $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  имеют исключительно кристаллическое строение. В холодное время года при низких температурах смешанные и ледяные облака могут формироваться вблизи земной поверхности.

Массу капель воды и кристаллов в единичном объёме облачного воздуха называют *водностью облака*. Однако капли и кристаллы так малы, что масса воды в них ничтожна. Например, в водяных облаках в  $1\text{ м}^3$  облачного воздуха содержится от 0,1 до

0,3 г воды. Только в кучевых облаках водность больше и изменяется от 0,7 г/м<sup>3</sup> в нижних частях облака до 1,8 г/м<sup>3</sup> – в верхней части, достигая в отдельных случаях 5 г/м<sup>3</sup>. В кристаллических облаках водность ещё меньше, достигая лишь сотых долей грамма на 1 м<sup>3</sup>.

Совокупность облаков, наблюдающихся на небосклоне над конкретной территорией, называется *облачностью*. Сведения об облачности имеют большое практическое значение. Облачность изменяет спектральный состав и интенсивность солнечной радиации, в том числе приток фотосинтетически активной радиации к растениям (см. главу 3), оказывает влияние на температуру почвы и приземного слоя воздуха. Она влияет на интенсивность излучения земной поверхности, благодаря чему снижает её охлаждение и т. п.

По условиям образования различают облака: *внутримассовые*, возникающие внутри однородных воздушных масс, и *фронтальные*, возникающие на границах раздела двух воздушных масс с резко различными физическими характеристиками: температурой, абсолютной влажностью, прозрачностью воздуха.

Высота нижней границы облаков определяется высотой уровня конденсации, т. е. высотой над поверхностью земли, где температура воздуха понижается до точки росы. Высота верхней границы определяется верхней границей конвекции. Фазовый состав облака зависит от того, выше или ниже уровня конденсации проходит нулевая изотерма. Если уровень конденсации находится ниже нулевой изотермы, то облака состоят из капель, если выше – то из кристаллов льда.

Известно большое разнообразие быстро меняющихся форм облаков. Специалисты-метеорологи свели это многообразие к небольшому числу основных родов, распределяющихся по высотным ярусам. Внешний вид облаков определяется формой, связанной в значительной мере с интенсивностью и особенностями процессов облакообразования. В современном варианте международной классификации облака делят на четыре класса (высотные ярусы) и на десять основных форм (родов) по внешнему виду. В основных родах различают значительное число видов и разновидностей.

На сети метеорологических станций наблюдения за облаками проводят визуально. При этом определяют: количество облаков на небосклоне, точнее – степень покрытия облаками небосклона в баллах от 0 (чистое небо, нет облаков) до 10 (весь небосвод покрыт облаками); один балл составляет 0,1 часть покрытого облаками всего небосвода и далее – два балла (0,2); три балла (0,3)..., девять баллов (0,9) и 10 баллов. Кроме этого, также визуально

определяют формы (роды) и виды облаков по международной квалификации. Высоту нижней границы облаков измеряют визуально или инструментально как расстояние от поверхности земли до основания облаков.

Агрономам нет необходимости разбираться во всём многообразии форм и видов облаков. В то же время агроном, оценивая визуально облачность, должен представлять в общих чертах возможность или невозможность выпадения осадков в самое ближайшее время. Для этой цели в табл. 7.1 приведены основные (без детализации) формы облаков по высотным ярусам, их названия, средние высоты этих форм и указания о возможности выпадения осадков.

Таблица 7.1

### Международная классификация облаков

Класс облаков	Основные формы		Высота образования	Выпадающие осадки
	названия	обозначения		
1. Облака верхнего яруса	Перистые	Cirrus (Ci)*	Более 6 км	Мелкие ледяные кристаллы
	Перисто-кучевые	Cirrocumulus (Cc)	То же	Осадки не выпадают
	Перисто-слоистые	Cirrostratus (Cs)	– ” –	Ледяные иглы
2. Облака среднего яруса	Высококучевые	Alto cumulus (Ac)	От 2 до 6 км	Осадки земли не достигают
	Высокослоистые	Altostratus (As)	То же	Зимой выпадает снег; летом – осадки земли не достигают
3. Облака нижнего яруса	Слоистые	Stratus (St)	Ниже 2 км	В холодное полугодие: иногда морось, мелкий снег, снежная крупа. В тёплое полугодие: редко морозящие осадки
	Слоисто-кучевые	Stratocumulus (Sc)	То же	Обычно осадки не выпадают
	Слоисто-дождевые	Nimbostratus (Ns)	– ” –	Обложные осадки в виде дождя или снега
4. Облака вертикального развития	Кучевые	Cumulus (Cu)	На высоту тропосферы	Осадки не выпадают
	Кучево-дождевые	Cumulonimbus (Cb)	То же	Ливни, град

\* В метеорологии приняты латинские названия облаков, поскольку они широко используются на международном уровне. Аналогично по этой же причине, все растения, животные и лекарства имеют латинские названия.

Обычно при изучении облаков и при наблюдениях за ними пользуются иллюстрированным Атласом облаков.

При наблюдениях за облаками (облачностью) визуально определяют общее количество облаков (в баллах) и количество облаков нижнего яруса, форму облаков и высоту нижней границы облаков нижнего и среднего ярусов. Эти наблюдения проводят отдельно по ярусам, а результаты наблюдений записывают в специальные книжки (КМ-1); форма записи приведена в табл. 7.2.

Таблица 7.2

### Примеры записи количества облаков в книжку КМ-1

Характер покрытия небосвода облаками	Облачность в баллах (общая / нижняя)
Весь небосвод покрыт облаками, но облаков нижнего яруса нет	10/0
Весь небосвод покрыт облаками нижнего яруса	10/10
Облаков на небосводе нет	0/0
Облака покрывают 0,8 площади небосвода, в том числе нижнего яруса покрыто 0,6 площади небосвода	8/6

На авиаметеорологических площадках, непременно расположенных в каждом аэропорту, установлены приборы – измерители высоты облаков (ИВО-1М и других модификаций) для измерения высоты нижней границы облаков в диапазоне от 50 до 200 м. Принцип работы таких приборов основан на измерении времени прохождения импульса света расстояния от излучателя до нижней границы облака и обратно до приёмника. В условиях сильных осадков или тумана измерение высоты облаков не производится. Полученная информация о высоте нижней границы облаков используется диспетчерами аэропортов для принятия ответственных решений о возможности посадки и вылета самолётов различных классов.

## 7.2. Облака верхнего яруса

В условиях низких температур воздуха облака самого верхнего яруса в тропосфере состоят из мельчайших ледяных кристаллов. Эти белые или полупрозрачные облака, разнообразные по своей структуре, мало затеняют солнечный свет (рис. 7.1).

Вследствие преломления и отражения световых лучей в этих облаках около Солнца и Луны образуются оптические явления в форме концентрических радужных кругов (гало), дуг, световых столбов.



Рис. 7.1. Перистые облака в виде параллельных полос, имеющих на верхних концах наклонно вытянутые нити, увенчанные на одном конце комочками или коготками:  
а – перистые когтевидные облака или б – тонкие волокнистые следы

**Перистые облака – Cirrus (Ci)** – простираются по небосклону в виде отдельных тонких белёсых нитей, гряд или полос волокнистой структуры. Толщина облачного слоя варьирует от нескольких сотен метров до нескольких километров. Нижняя граница этой облачности располагается на высоте 7–10 км. Их образование связано с восходящими потоками воздуха в верхней тропосфере в зоне атмосферных фронтов или с деформацией вершин кучево-дождевых облаков при их распаде. Осадки наблюдаются только в виде очень мелких кристаллов, которые обычно испаряются, не достигая земли. Одна из разновидностей перистых облаков – *перистые когтевидные* – *Cirrus uncinus (Ci unc.)* – является признаком приближения тёплого фронта.

**Перисто-кучевые облака – Cirrocumulus (Cc)** – по своей структуре напоминают мелкие гряды или пласты, состоящие из очень мелких хлопьев, завитков (барашков) или небольших шарообразных форм, напоминающих рябь на поверхности воды или песка (рис. 7.2). Толщина облачного слоя около 0,2–0,4 км, высота нижней границы 6–8 км.

Возникновение этих облаков связано с волновыми, восходящими потоками в верхней тропосфере; часто они наблюдаются перед быстро движущимся холодным фронтом. Осадки из таких облаков не выпадают.

**Перисто-слоистые облака – Cirrostratus (Cs)** – напоминают тонкую полупрозрачную вуаль, закрывающую небосклон, иногда имеющие волокнистую структуру (рис. 7.3).

В этих облаках часто наблюдаются яркие гало или комбинации светлых дуг вокруг Солнца и Луны. Толщина облачного слоя



Рис. 7.2. Перисто-кучевые облака имеют различную конфигурацию



Рис. 7.3. Разнообразные виды перисто-слоистых облаков

варьирует от 0,1 до нескольких километров, высота нижней границы облачности – 6–8 км. Иногда пелена таких облаков настолько тонкая, что её можно обнаружить лишь по наличию гало. Образование этого типа облаков связано с адиабатическим охлаждением воздуха при восходящем движении в верхней тропосфере в зонах тёплых атмосферных фронтов. Обычно осадки из этих облаков не достигают земли, за исключением региона Восточной Сибири, где в условиях низких температур образуется слабый снег или выпадение ледяных игл.

### 7.3. Облака среднего яруса

К облакам среднего яруса относятся высококучевые и высокослоистые облака. Их внешний вид напоминает волны, пелену различной плотности или хлопья светло-серого или белого цвета. Эти облака значительно плотнее облаков верхнего яруса, состоят из переохлаждённых капель, иногда в смеси с кристалликами льда и снежинок (рис. 7.4).





Рис. 7.4. Высококучевые облака

**Высококучевые облака – *Alto cumulus (Ac)*** – по внешнему виду очень разнообразны, напоминают пласты, диски, гряды или хлопья белого, серого иногда синеватого цвета, разделённые просветами голубого неба; при слиянии образующие сплошной облачный покров. Это достаточно тонкие облака (от 0,2 до 0,7 км), незначительно затеняющие диск Солнца. Высота нижней границы изменчива и составляет 2 – 6 км. Образование этих облаков происходит в основном в результате волнового движения воздуха на границах инверсии<sup>1</sup> и конвекции в слое выше 2 км, обычно перед холодными фронтами. В этих облаках возникают оптические явления: появление радужной окраски по краям капельных (водяных) облаков, объясняющееся дифракцией<sup>2</sup> света. В этих облаках изредка наблюдаются «метловидные» полосы выпадения осадков, как правило, не достигающие земной поверхности.

**Высокослоистые облака – *Altostratus (As)*** – это почти однородная пелена слабоволокнистой структуры светло-серого или молочно-серого цвета, закрывающей целиком или частично небосвод. Через менее плотные участки иногда просвечивают Солнце (Луна) в виде размытых пятен. На нижней поверхности иногда заметны слабо выраженные волны и борозды. Это типичные смешанные облака, в которых наряду с мельчайшими каплями содержатся и мелкие снежинки (рис. 7.5).

Толщина облачного слоя около 1 – 2 км, высота нижней границы 3 – 5 км. Образование этих облаков связано с охлаждением воздуха, обусловленного медленными восходящими потоками. Обычно

<sup>1</sup> Инверсия температуры – повышение температуры с высотой в некотором слое атмосферы.

<sup>2</sup> Дифракция света – нарушение прямолинейности (огибание) световыми волнами препятствий в виде капель воды, кристаллов в атмосфере.



Рис. 7.5. Высокослоистые облака

это происходит перед тёплым фронтом, реже – перед медленно движущимся холодным фронтом. Из этих облаков в зимний период выпадают небольшие осадки в виде мелкого снега, а летом такие осадки, не достигая земли, испаряются в тёплых слоях воздуха.

#### 7.4. Облака нижнего яруса

Облака этого яруса имеют вид низко плывущих, серых «тяжёлых», непросвечивающих гряд, валов или пелены, закрывающих небосвод сплошным покровом. Эти облака состоят из капель воды (летом), переохлаждённых капель, кристаллов льда и снежинок (зимой).

**Слоистые облака – *Stratus (St)*** – покрывают весь небосклон серой пеленой, напоминающей приподнятый над землёй туман. Нижняя часть их может быть разорванной, клочковатой структуры. Толщина облачного слоя от 0,2 до 0,8 км, высота нижней границы от 0,1 до 0,7 км (рис. 7.6, слева). Слоистые облака состоят преимущественно из мельчайших капель воды или переохлаждённой воды. Образуются в процессе охлаждения относительно тёплого воздуха при соприкосновении его с холодной подстилающей поверхностью или в результате ночного излучения. Эти облака характерны для устойчивых воздушных масс. Осадки выпадают из них довольно редко и то в виде мороси (летом); зимой при достаточно низких отрицательных температурах могут выпадать ледяные иглы, мелкий снег или снежные зерна.

**Слоисто-кучевые облака – *Stratocumulus (Sc)*** – представляют собой неоднородный сплошной слой (иногда с просветами) в виде крупных гряд, глыб или пластин. Толщина облачного слоя от 0,2 до 0,8 км, высота нижней границы 0,5–1,5 км (рис. 7.6, справа). При сплошном покрове Солнце не просвечивает. Эти облака состоят в



Рис. 7.6. Слоистые (слева) и слоисто-кучевые облака (справа)

основном из мелких однородных капель (при отрицательных температурах – переохлаждённых) и не дают осадков. Очень редко из них выпадает морось, а при низких температурах – снежные зёрна.

**Слоисто-дождевые облака – Nimbostratus (Ns)** – покрывают небосклон сплошным облачным слоем тёмно-серого цвета, иногда с желтоватым или синеватым оттенками. Толщина облачного слоя составляет 2 – 3 км (редко до 5 км). Нижняя граница этих облаков располагается на высоте 0,1 – 1,0 км. Под покровом таких облаков часто образуются бесформенные скопления низких разорванных облаков, особенно мрачных на фоне слоисто-кучевой облачности. Солнце и луна сквозь этот слой облаков не просвечивают. Образуются в результате охлаждения восходящих воздушных потоков. Эти облака, состоящие в основном из капель воды и ледяных кристаллов, формируются главным образом на границе раздела тёплой воздушной массы при её соприкосновении с холодной массой и сопровождаются выпадением обложных осадков в виде дождя летом и снега – зимой (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Слоисто-дождевые облака

### 7.5. Облака вертикального развития

Облака этого яруса образуются в результате термической конвекции в холодных, неустойчивых воздушных массах. Они имеют вид отдельных плотных масс, сильно развитых по вертикали, с плоским, тёмного цвета основанием и с причудливой формы ослепительно белыми вершинами, напоминающими гроздящиеся купола и башни. Это кучевые и кучево-дождевые облака тёплого периода года (рис. 7.8).



Рис. 7.8. Типичные кучевые облака

**Кучевые облака – Cumulus (Cu)** – имеют ярко выраженную дневную динамику: после утренней ясной погоды на небосклоне появляются отдельные облака, плотные, с резко очерченными контурами, разбросанные по небосклону в виде беспорядочно расположенных облачных масс. Их нижние тёмно-серые основания, выровненные по нижней границе, называются облаками «хорошей погоды» или – *кучевые плоские – Cumulus humilis (Cu hum.)* (рис. 7.9).



Рис. 7.9. Кучевые плоские облака

К полудню, по мере повышения температуры воздуха, их количество увеличивается, и облака, смыкаясь, закрывают большую часть небосвода. Разрастаясь вверх, по мере прогрева и развития восходящих потоков воздуха, кучевые облака превращаются вначале в *кучевые средние* – *Cumulus mediocris (Cu med.)*, достигающие высоты 3–4 км, а затем – в послеполуденные часы – в *кучевые мощные* – *Cumulus congestus (Cu cong.)*, шапки которых достигают высоты 8 и более км (рис. 7.10).



Рис. 7.10. Кучевые мощные облака

Толщина облачного слоя изменяется от сотен метров до нескольких километров. Нижняя граница располагается на высоте от 0,8 до 1,5 км, однако в сухих и жарких условиях может увеличиваться до 2,5–3,0 км. Кучевые облака состоят преимущественно из капель воды. Обычно из облаков этого рода осадки не выпадают, или в редких случаях при высокой влажности облаков возможно выпадение небольших дождей. Закрывая Солнце, такие облака сильно снижают приток солнечной радиации на подстилающую поверхность, в том числе и на посевы сельскохозяйственных культур.

**Кучево-дождевые облака – *Cumulonimbus (Cb)*** образуются в процессе дальнейшего развития кучевых облаков. Благодаря большой вертикальной мощности формируются горообразные облачные массы с тёмными, иногда синеватыми, основаниями и белоснежными вершинами (рис. 7.11).

Обычно после полудня облачные массы смыкаются и закрывают иногда весь небосклон. В средних широтах вертикальная мощность таких облаков достигает 10–12 км и более. Верхние части таких облаков состоят из ледяных кристаллов и переохлаждённых капель. Высота нижней границы облаков изменяется от 0,4 до 1,0 км. В нижних частях облака состоят из капель воды, в средней части – из капель переохлаждённой воды и кристаллов льда. Солнце и Луна совершенно не просвечиваются через толщу таких облаков.



*Рис. 7.11. Кучево-дождевые облака с грозовым валом. Справа прохождение быстро перемещающихся облаков сопровождается шквалом – внезапным и резким усилением ветра.*

Из кучево-дождевых облаков выпадают осадки ливневого характера различной интенсивности и продолжительности, часто сопровождаемые грозами и выпадением града. Известно, что ливневые (особенно продолжительные) дожди вызывают развитие процессов водной эрозии и оврагообразования, а шквалистые ветры приводят к полеганию высокостебельных посевов сельскохозяйственных культур, наносят ущерб лесному хозяйству в результате лесоповала и возникновения лесных пожаров в сухую жаркую погоду.

К вечеру, после снижения интенсивности солнечной радиации, начинается распад облачных масс, происходит размывание вершин облаков, выражающееся в форме «наковальни», состоящей из перистых облаков (рис. 7.12).



*Рис. 7.12. Кучево-дождевое облако с «наковальней». Под влиянием сдвига ветра по вертикали верхняя обледеневшая часть облака приобретает вид гигантской «наковальни», форма которой бывает разнообразна. Это начало распада облака.*



Летом в кучево-дождевых облаках нередко формируются грозовые и градовые очаги. В процессе сублимации водяного пара кристаллы льда в облаке быстро увеличиваются до размеров 0,1 – 5,0 см и более, масса таких градин достигает 20 – 80 г, а в экстремальных случаях – 500 – 700 г. Выпадение града на сельскохозяйственных угодьях, называемое градобитием, а также ливневые дожди и шквалистые ветры относятся к числу опасных метеорологических явлений (ОЯ), приносящих значительные убытки сельскохозяйственному сектору и другим отраслям экономики областей и регионов (рис. 7.13).



Рис. 7.13. Гроза и град, выпавший на полях

Во время выпадения осадков в облачные просветы нередко проглядывают лучи Солнца, в таких случаях можно наблюдать красочную радугу, состоящую иногда из двух и более дуг.

В 2017 г. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) подготовила и выпустила новый Международный атлас облаков, который является общемировым эталонным справочником по идентификации и классификации облаков и других атмосферных явлений – метеоров. В новом Атласе сохранены прежние 10 родов основных типов облаков. Однако был добавлен новый вид облаков: *volutus* (свёрнутые в рулон), который формируется внутри родов *Alto cumulus* (высококучевые) и *Strato cumulus* (слоисто-кучевые), представленные на рис. 7.14.

Этот вид описывает продолговатые, обычно низкие, горизонтальные, разрозненные, трубообразные облачные массы, которые часто сворачиваются вокруг горизонтальной оси в рулон (рис. 7.15).

Для определения формы облаков в помощь наблюдателю в этом Атласе ВМО предложено универсальное, достаточно компактное и удобное в работе Руководство для определения рода облаков (рис. 7.16). Как им пользоваться? Начать следует с верхней



Рис. 7.14. Слоисто-кучевые с шероховатостью облака (*Stratocumulus volutus, asperitas*)



Рис. 7.15. Слоисто-кучевые, свёрнутые в рулон облака (*Stratocumulus volutus*)

стрелки, под которой в квадрате написано: «Видна ли молния или слышен ли гром?» Если видна молния или слышен гром, то следуйте по этой стрелке «да» к соответствующему квадрату с названием типа облаков. Если этих явлений не видно и не слышно, то следуйте по стрелке «нет». И так, шаг за шагом, сравнивая написанные в квадратах признаки с наблюдаемыми на небосклоне, следуйте по стрелкам «нет» до момента, когда написанный признак совпадет с наблюдаемым типом облака или явления «да», что и является подсказкой для наблюдателя: какой тип облака или облачности находится не небосклоне.

Новый Атлас полностью сохраняет международную классификацию и структуру, принятую в прежних изданиях. Его использование странами-членами ВМО обеспечивает согласованность информации о наблюдениях, выполняемых по всему миру.





### **7.6. Местные признаки погоды. Определение по облакам вероятности выпадения осадков**

*У природы нет плохой погоды,  
Каждая погода – благодать.*

Погода – это непрерывно меняющееся физическое состояние атмосферы в конкретной местности в данный момент времени или в некоторый промежуток времени (сутки, неделя, декада, месяц). Погода характеризуется совокупностью метеорологических величин или их средними значениями за взятый промежуток времени. Она обусловлена физическими процессами в нижних слоях атмосферы (до 30–40 км), происходящими при взаимодействии с подстилающей поверхностью. Складывающиеся погодные условия оказывают существенное воздействие на многие виды хозяйственной деятельности людей: сельскохозяйственное производство, все виды воздушного, наземного и водного транспорта, строительство, рыболовство и др., а также на физическое и эмоциональное состояние людей. Одни и те же погодные условия оказываются благоприятными для одних отраслей экономики и неблагоприятными – для других. Например, обильные зимние снегопады благоприятны для формирования запасов почвенной влаги на сельскохозяйственных полях и накопления запасов воды в горах, в реках и водохранилищах к началу вегетационного периода. В то же время из-за снежных заносов на дорогах нарушается работа автомобильного и железнодорожного транспорта, а в горных условиях создаются условия для схода опасных снежных лавин и т. п. «У природы нет плохой погоды, каждая погода – благодать...» – поётся в известной песне.

Надёжное прогнозирование условий погоды помогает снизить или даже исключить возможный экономический ущерб и обеспечить безопасность людей. Предсказанием (прогнозом) погоды занимаются метеорологи-синоптики. Ими разработаны и используются методы прогнозирования погоды различной заблаговременности: краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные, ориентированные как для общего пользования населения страны, так и с учётом специфики деятельности различных отраслей экономики (*специализированные прогнозы*), например, для авиации, морского транспорта, топливно-энергетического хозяйства, лесного хозяйства и т. п.

Однако многие люди умеют самостоятельно оценивать по местным признакам возможные изменения в погодных условиях. Наблюдательные жители городов, и особенно сельской местности, годами не меняющие места своего проживания, обычно хорошо

ориентируются в местных признаках приближающегося изменения погоды. Естественно, что в различных широтах, на равнинах и в горах, вблизи крупных водоёмов и подобных физико-географических условиях местные признаки изменения погоды будут отличаться друг от друга, но при этом такие признаки имеют и много общего. Зная их, можно самостоятельно определять будущую погоду на несколько часов вперёд и даже на один-два дня вперёд без синоптической карты. Вековые наблюдения за местной погодой и её изменениями нашли своё отражение во многих народных пословицах и поговорках. Ниже приведены некоторые, наиболее известные местные признаки изменения погоды на примере центральных регионов Европейской части России.

### **Признаки сохранения устойчивой погоды без осадков**

**Облачность и туманы.** Летом ясная погода редко может удерживаться круглые сутки. Обычно после ясной ночи с 9 – 11 ч утра на небосклоне начинает развиваться кучевая облачность. Если утренние кучевые облака плоские, растекаются в сторону и не растут вверх, маловероятно, что она превратится в кучево-дождевую облачность. Если такие облака не растут вверх, то послеполуденная гроза маловероятна. В ясные ночи, когда воздух сильно охлаждается, иногда к утру в понижениях рельефа возникают туманы, стелющиеся над землёй. Это характерное явление устойчиво хорошей погоды; примета: «*Летний туман – к ясной погоде*».

Осенью ночной туман после восхода Солнца поднимается и превращается в сплошную слоистую облачность, утро кажется пасмурным, предвещающим ненастный день, но к 9 – 10 ч облачность разрывается и переходит в кучевую или совсем исчезает – сияет Солнце. Зимой, обычно при сильном морозе, в течение нескольких суток может сохраняться совершенно безоблачная, ясная погода. Дым из труб поднимается столбом вверх.

**Температура воздуха.** Зимой, после ненастья и установления ясной погоды температура обычно понижается, и день ото дня становится всё холоднее. Чем резче похолодание, тем увереннее произойдёт сохранение продолжительного периода ясной погоды. Для ясной погоды характерен суточный ход температуры воздуха: повышение после восхода Солнца до 14 – 15 ч, а затем непрерывно понижается до утра следующего дня.

Весной и осенью после тёплого солнечного дня ранним утром трава часто покрывается инеем, а летней ночью выпадает роса.

Земля ночью охлаждается быстрее, чем воздух; нижние слои воздуха, соприкасаясь с ней, также охлаждаются и выделяют влагу в виде капель росы на поверхности земли и растительности. Примета: «*Сильная ночная роса – к ясному дню*».

**Ветер.** Сразу после ненастья, когда ясная погода только устанавливается и продолжается похолодание, обычно дует сильный порывистый северный ветер, который постепенно ослабевает. Чем сильнее северный ветер, тем увереннее можно рассчитывать на сохранение ясной погоды. Ветер обычно усиливается днём и ослабевает ночью. Примета: «*Обедник (дневной ветер) днём колышит, к вечеру оттишит* (прекратится)».

**Давление.** Если стрелка барометра при постукивании отклоняется вправо, можно ожидать сохранения ясной погоды.

**Световые явления.** Чисто голубой цвет неба служит признаком сохранения ясной погоды. Окраска вечерних и утренних зорь зависит от количества водяного пара и пыли в атмосфере: чем больше водяного пара, тем краснее утренняя заря. Чистый закат Солнца, переходящий в жёлтый цвет у горизонта, – сохранение ясной погоды. Примета: «*Чистый закат Солнца – к вёдру (сухой погоде)*». Такой закат особенно характерен при вторжении холодного воздуха, за которым следует период ясной погоды.

Таким образом, малооблачная погода без осадков наблюдается при антициклонах. Важнейшим признаком этого является ярко выраженный суточный ход метеорологических величин. Атмосферное давление мало меняется во времени или незначительно увеличивается. В дневные летние часы наблюдается усиление ветра и значительное повышение температуры почвы и воздуха. К полудню обычно развиваются отдельные кучевые облака в виде «шапок», которые к вечеру постепенно сокращаются в размерах, растекаются и исчезают. Ночи обычно прохладные, безветренные, небо безоблачно. В результате ночного излучения на подстилающей поверхности может образоваться роса, а в понижениях рельефа или вблизи водоёмов, где влажность воздуха обычно более высокая, возможно образование радиационного тумана, который с восходом Солнца быстро рассеивается. Вечерняя заря золотистого или даже зелёного цвета.

### Признаки наступления ненастной погоды

**Облачность и туманы.** Пасмурная погода характерна для циклонов и атмосферных фронтов – тёплых и холодных. Ненастная погода с продолжительными обложными осадками, сплошной

низкой облачностью и туманами наблюдается при прохождении тёплых фронтов в передней и центральной частях циклонов. Признаками приближения тёплых фронтов, а, следовательно, и продолжительных обложных осадков является медленное падение атмосферного давления и появление облаков. Сначала появляются тонкие перистые и перисто-слоистые облака верхнего яруса (цирусы) – предвестники ненастья. Перистые облака рассеивают свет Солнца и Луны, обычно вокруг них образуется светлый круг – гало. В дальнейшем перисто-слоистые облака уплотняются и переходят в другую форму – высокостроистых облаков. Одновременно с этим уменьшается и исчезает гало. Фронтальные облака уплотняются с одной стороны горизонта. Если наблюдатель встанет спиной к ветру, то это уплотнение окажется слева от него, т. е. там, где должно быть низкое давление. Если это правило не выполняется, то такие высокие облака чаще всего не развиваются в дождевые облака.

Если утренние кучевые облака к полудню не растут вверх, а выше их небо затягивается пеленой высоких облаков, то это признак приближения дождя. Из высокостроистых облаков могут выпасть слабые осадки. За высокостроистыми облаками надвигаются мощные слоисто-дождевые облака тёмного цвета. Из них выпадают продолжительные, обложные осадки.

**Температура.** В передней части циклона обычно расположен тёплый фронт. С его приближением сверху увеличивается слой тёплого воздуха, излучающий тепло. Зимой это вызывает ослабление морозов задолго до прихода тёплого фронта.

Летом в результате увеличения облачности сглаживается суточный ход температуры воздуха, и ночь перед наступлением дождливой погоды бывает необычно тёплой (вынос тепла). Роса не образуется. Примета: *«Если утром трава суха, к ночи ожидай дождя»*. Из-за нарушения суточного хода температуры перед ухудшением погоды вечером и ночью сглаживаются различия в температуре воздуха в низине и на возвышенностях. Но в отдельных случаях формируется туман адвективного типа, который не рассеивается с восходом Солнца.

**Ветер.** Важным признаком приближения циклона является усиление ветра независимо от времени суток. Приметы: *«Ночной ветер воду делает»*; *«Если стояло долгое затишье и подул ветер – будет дождь»*; *«Зашумела дубравушка к погодушке»*; *«Если зимой шумит лес – к оттепели»* (т. е. к приближению и прохождению тёплого фронта).

Большое значение имеет направление ветра. Обычно циклоны движутся с запада, юго-запада на восток, поэтому в их передней части преобладают юго-восточные, южные и реже, если циклон выходит с юга, – восточные ветры. Приметы: *«Если ветер дул с одной стороны, а потом вдруг переменялся и стал дуть с другой стороны – скоро будет дождь»*; *«Если ветер дует с юга – летом к ненастью, зимой к теплу»*; *«Гнилой юго-западный ветер надувает дожди»*; *«Юго-восточный ветер – плаксун: плачет, дождь приносит»*; *«Когда дым идёт на запад (восточный ветер) – хорошая погода кончилась»*.

**Давление.** Если стрелка барометра-анероида при постукивании по стеклу прибора отклоняется влево, то это является важным признаком приближения циклона.

**Световые явления.** Одним из признаков приближающегося ненастья является красный цвет вечерней зари. Если накануне вечерняя заря была оранжевой или розовой, а на следующий день приобрела багровую окраску, причиной является приближение более влажной воздушной массы с запада и следует ожидать осадков.

Тонкие облака верхнего яруса рассеивают солнечный свет и делают краски заката мутными («нечистыми»). Приметы: *«Если Солнце ложится спать бледным, то завтра будет дождь»*; *«Бледная луна даёт дождь»*. Круги вокруг Солнца и Луны (гало) возникают при прохождении и преломлении света через кристаллы в верхних слоях атмосферы (перистые и иногда перисто-слоистые облака тёплого и иногда холодного фронтов). Приметы: *«Луна с кругом несёт воду в своём роге»*; *«Когда звёзды начинают прятаться, скоро будет дождь»*.

Таким образом, после прохождения фронтов и циклонов постепенно устанавливается малооблачная погода, её признаки: рост атмосферного давления, ослабление ветра, восстановление суточного хода метеорологических величин, появление росы или тумана в утренние часы.

### Ненастье сохранится

**Облачность и осадки.** Сплошная низкая облачность имеет однородный серый цвет без резких «клубов» или «обрывов» – дождь или снег выпадает ровно, без заметных усилений или ослаблений.

**Температура.** Мало меняющаяся температура воздуха, без заметного суточного хода – признак затяжного ненастья. Резкое потепление при осадках обычно означает, что прошёл тёплый фронт, тогда осадки могут на некоторое время прекратиться. Но коренного улучшения погоды не произойдёт, ещё должен пройти холодный фронт.

**Ветер.** Если ветер не меняет своего направления (чаще – это ветер с юго-востока, с востока или с северо-востока), то сохраняется устойчивая ненастная погода. Однако переход ветра на южные и юго-западные направления не означает коренного улучшения погоды, хотя и может сопровождаться временным прекращением осадков и даже прояснениями.

**Давление.** Если стрелка барометра-анероида при постукивании продолжает отклоняться влево, то улучшения погоды в ближайшие часы не произойдет.

Таким образом, погода с осадками может сохраниться в течение нескольких суток при низкой сплошной облачности после прохождения тёплого фронта и циклонов. Основными признаками сохранения ненастной погоды являются: продолжение падения атмосферного давления при длительных, без заметного усиления или ослабления осадков и слабо выраженного дневного хода температуры воздуха. Зимой пасмурная погода с туманами и слабыми осадками может удерживаться очень долго при западных ветрах.

### Ожидание прояснений

**Облачность и осадки.** О предстоящем улучшении погоды можно судить по приходу холодного фронта. Момент прохождения холодного фронта можно установить по изменению цвета облачности – серая пелена облаков становится тёмной, на её фоне появляются отдельные облачные «клубы». Кратковременно дождь усиливается, иногда переходит в ливень (снегопад). Отклонение высоких облаков влево от направления движения более низких облаков служит признаком того, что холодный фронт прошёл и следует ожидать улучшения погоды.

**Температура.** Похолодание при ненастье является очень верным признаком скорого прекращения осадков. Чем сильнее похолодание, тем надёжнее этот признак.

**Ветер.** Чем быстрее движется циклон, тем скорее проходит его тыловая часть. Резкий переход порывов ветра на западное или северо-западное направление означает приход тыловой части циклона.

Скорость движения циклона тесно связана с силой ветра. Примета: «Сильный ветер во время дождя предвещает хорошую погоду».

**Давление.** Признаком коренного улучшения погоды может быть только неоднократное отклонение (при постукивании) стрелки барометра вправо.

#### Задания

1. Определите основные формы и виды облаков, используя «Атлас облаков».
2. Выпишите и запомните формы и виды облаков, из которых выпадают осадки.
3. Находясь вне помещения, определите визуально общее количество облаков (в баллах), высоту нижней границы облаков и запишите результаты в таблицу.

#### Образец записи наблюдений за облачностью

Количество облаков, баллы	Формы и виды облаков	Высота нижней границы облаков, м
7/3*	Ci uns, As tr. Cu hum	600

\* В числителе – общая облачность, в знаменателе – нижняя облачность.

#### Контрольные вопросы

1. Как различают облака по фазовому состоянию, по условиям образования?
2. Какова роль облачности как погодного фактора для сельскохозяйственного производства?
3. Какие характеристики лежат в основе Международной классификации облаков?
4. Из каких ярусов и форм облаков выпадают осадки, достигающие поверхности земли?
5. Назовите местные признаки погоды, которые характеризуют её устойчивый характер в тёплый период года.
6. Назовите местные признаки погоды (облачности, ветра и др.), которые характеризуют наступление ненастья.
7. Перечислите известные русские пословицы и поговорки, предполагающие солнечную и ненастную погоду.



## Глава 8

# ИЗМЕРЕНИЕ ОСАДКОВ И ИСПАРЕНИЯ

### 8.1. Атмосферные осадки, снежный покров

*Атмосферными осадками* называют воду в жидком и твёрдом состоянии, которая выпадает из облаков или осаждается из воздуха на поверхности земли и на наземных предметах. Для атмосферных осадков существуют разные классификации. Различают обложные осадки, которые связаны с тёплыми фронтами, и ливневые осадки, которые относятся к холодным фронтам.

Атмосферные осадки являются основным источником влаги в почве. Отсутствие осадков в течение длительного времени ведёт к пересыханию верхнего слоя почвы. В результате нарушается водоснабжение сельскохозяйственных культур и снижается урожай. Неблагоприятно сказывается на растениях и выпадение чрезмерно большого количества осадков. В этом случае возникает вымокание и полегание посевов. Продолжительные дожди в период цветения ухудшают опыление и оплодотворение цветковых растений, в период созревания затрудняют уборку. Особенно опасны ливневые дожди, сопровождающиеся градом. Обычно такие осадки вызывают механическое повреждение посевов, а в экстремальных случаях возможен даже смыв верхних слоёв почвы.

На метеорологических станциях и постах количество осадков измеряют высотой слоя выпавшей воды в миллиметрах (мм), который образовался бы на горизонтальной поверхности при условии, что выпавшие осадки не испарялись, не просачивались в почву и не стекали<sup>1</sup>. Слой осадков высотой 1 мм на площади 1 га (10 000 м<sup>2</sup>) соответствует объёму воды 10 м<sup>3</sup>/га (0,001 м × 10 000 м<sup>2</sup>/га) или её массе 10 т/га. Следовательно, коэффициент пересчёта количества выпавших осадков из миллиметров в тонны на 1 гектар равен 10. В практических целях для перевода данных о выпавших осадках

---

<sup>1</sup> В некоторых зарубежных странах осадки принято измерять в сантиметрах или дюймах (1 дюйм = 2,54 см).

в м<sup>3</sup> на 1 га агроному необходимо их количество, измеренное в миллиметрах, умножить на 10. Агрономы и фермеры обычно используют данные о количестве осадков, измеренных на сети станций, в единицах объёма (м<sup>3</sup>/га). Эти данные широко применяются при определении влагообеспеченности посевов.

*Интенсивность осадков* – это слой осадков, выпавших за единицу времени, например за 1 мин. Обычно измеряется в мм/мин. Продолжительность выпадения осадков измеряют в часах или минутах от начала до окончания их выпадения.

По фазовому составу осадки делят на: жидкие, смешанные и твёрдые. К жидким осадкам относят: *ливневой дождь, обложной дождь, ледяной дождь, морось, мокрый снег*. К твёрдым осадкам относятся: *снег, ливневой снег, снежная и ледяная крупа, град, ледяные иглы*. Непосредственно из воздуха выделяются: *роса, иней, жидкий налёт, твёрдый налёт, изморось*. Осаждение переохлаждённого дождя, мороси, тумана на земной поверхности и предметах создает гололёд.

Ливневой дождь, обычно охватывающий небольшие территории, непродолжителен по времени. Диаметр дождевых капель составляет 5–7 мм. Обложной дождь, выпадающий из слоисто-дождевых облаков, продолжителен по времени, охватывает значительные территории. Морось – это дождевые осадки, состоящие из капель диаметром менее 0,5 мм, выпадают из плотных слоистых облаков. Смешанные осадки, состоящие из капель дождя, снежинок и мокрого снега, выпадают из слоисто-дождевых облаков при температуре воздуха в нижних слоях атмосферы около 0 °С. Обложной снег выпадает из слоисто-дождевых, слоисто-кучевых и высокослоистых облаков. Снежные зёрна выпадают из слоистых облаков. Из кучево-дождевых облаков выпадает снежная и ледяная крупа, ливневой снег и град.

Осадки, выпадающие в холодный период, образуют устойчивый снежный покров в течение всей зимы. Например, в среднем за многолетний период (не менее 30 лет) на территории Калужской области первое появление снежного покрова приходится на 29 октября, а образование устойчивого снежного покрова происходит через три недели после этой даты. Снег предохраняет почву зимой от потери тепла. Излучение идет с поверхности снежного покрова; почва под снегом остается более тёплой, чем обнажённая почва. Суточная амплитуда температуры на поверхности почвы под снегом резко уменьшается. Снежный покров предохраняет от вымерзания растительность и её корневую систему, которая в

свою очередь задерживает снег. На полях, лишённых растительного покрова, снег, как правило, сдувается ветром в пониженные участки земной поверхности, в таких случаях зимующие посевы, лишённые снежного «покрывала», вымерзают.

В зимнее время наблюдения ведутся за состоянием снежного покрова. Измеряют его высоту и плотность. По данным измерений вычисляют запас воды в снежном покрове, сведения о котором необходимы для планирования полевых сельскохозяйственных работ.

Средняя многолетняя дата начала весеннего разрушения устойчивого снежного покрова наблюдается на территории Калужской области 26 марта, а через две недели (9 апреля) снежный покров исчезает полностью.

## 8.2. Приборы для измерения осадков

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

**Осадкомер Третьякова 0-1** является основным прибором для измерения количества жидких и твёрдых осадков. В комплект осадкомера входят два цилиндрических ведра (осадкомерные сосуды), крышка к ведру, планочная защита, таган для установки ведра и измерительный стакан (рис. 8.1).

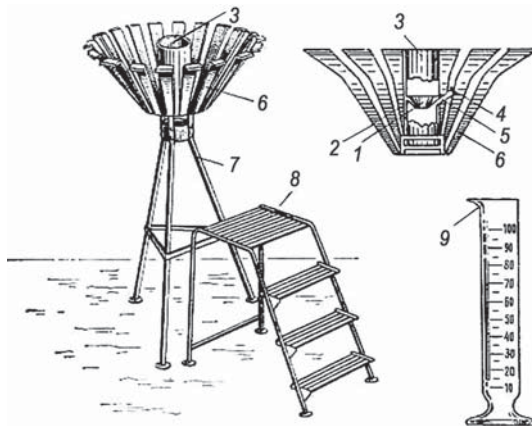


Рис. 8.1. Осадкомер Третьякова 0-1:

- 1 – воронка; 2 – диафрагма; 3 – ведро; 4 – колпачок; 5 – носик;
- 6 – планочная защита; 7 – подставка; 8 – лесенка;
- 9 – измерительный (мерный) стакан

Ведро (3) осадкомера имеет высоту 40 см и площадь приёмной поверхности 200 см<sup>2</sup>. Внутри ведра впаяна диафрагма (2) в виде усечённого конуса, отверстие которой для уменьшения испарения осадков из ведра в летнее время закрывается воронкой (1). С внешней стороны ведра для слива собранных осадков в измерительный стакан (9) припаян носик (5) с колпачком (4). Ведро осадкомера устанавливают в таган, который закреплён неподвижно на металлической подставке (7).

Для уменьшения влияния ветра на количество осадков, попавших в ведро, применяется ветровая защита (6), состоящая из 16 трапецевидных планок. Верхние концы планок отогнуты во внешнюю сторону и находятся на одной высоте с верхним краем ведра. Крепятся они за ушки на металлическом кольце, которое с помощью четырёх кронштейнов соединено с таганом. Планки расположены на равном расстоянии друг от друга и соединены между собой внизу и вверху цепочками. Измерение количества осадков производится измерительным стаканом (9), который представляет собой мензурку с делениями (100 делений). Одно деление стакана по объёму равно 2 см.

Устанавливают осадкомер на удалённом расстоянии от окружающих предметов, расстояние до которых должно быть не менее их трёхкратной высоты. Таган укрепляют на металлической подставке так, чтобы верхний край установленного в нём ведра находился на высоте 2 м от поверхности земли. Рядом с подставкой осадкомера находится лесенка (8).

Во время измерений производят смену вёдер (4 раза в сутки). Пустое ведро, закрытое крышкой, выносят из помещения и заменяют им ведро, стоящее на тагане осадкомера. Снимают с него крышку, закрывают снятое ведро и переносят в помещение, где измеряют количество осадков. Содержащиеся в ведре осадки переливают через носик в измерительный стакан, установленный на горизонтальной поверхности, и отсчитывают по положению уровня воды число делений стакана. Измерение количества твёрдых осадков производят после того, как они полностью растают, при этом ведро должно быть закрыто крышкой. Если осадков окажется более 100 делений стакана, то измеряют их в несколько приёмов, записывая число делений каждого измерения и общую сумму. Количество выпавших осадков в миллиметрах соответствует числу делений стакана, уменьшенного в 10 раз. К результатам измерений вводят поправку на смачивание ведра. Для жидких осадков, количество которых меньше 0,5 деления стакана, поправка составляет + 0,1 мм, а для

осадков 0,5 деления стакана и больше поправка равна + 0,2 мм. По данным продолжительности выпадения осадков определяют их интенсивность за этот период (мм/мин).

**Дождемер полевой М-99** (или **дождемер Давитая**) применяют для измерения жидких осадков на агрометеорологических постах. Он особенно удобен для измерения осадков среди растений. Дождемер представляет собой стеклянный мерный стакан (2) высотой 34 см с расширенной верхней частью, являющейся приёмником осадков. Площадь приёмного отверстия дождемера равна 30 см<sup>2</sup>. На мерном стакане дождемера нанесены деления в миллиметрах слоя воды. Для уменьшения испарения в стакан вставляется стеклянная воронка (рис. 8.2).

Устанавливают дождемер полевой на деревянной или металлической подставке с таким расчётом, чтобы верхний край его находился на высоте 2 м от уровня земли. Для учёта осадков среди растений его можно устанавливать в междурядье, непосредственно на поверхности почвы.

Измерения производят по делениям шкалы, одно деление стакана соответствует 1 мм воды.

**Плювиограф П-2** служит для непрерывной регистрации количества и интенсивности жидких осадков. Он смонтирован в металлическом кожухе (3) цилиндрической формы с вырезом в передней части, который закрывается дверцей, укрепленной на петлях (рис. 8.3).

Приёмником осадков плювиографа является цилиндрический сосуд (2) с площадью приёмной поверхности 500 см<sup>2</sup>. В нижней части сосуд переходит в конус с несколькими отверстиями для стока воды. Ко дну его припаяна трубка, которая вставляется в воронку трубки (4), идущей от поплавковой камеры (8). Поплавковая камера укреплена с помощью винта (15) на плате (10). Внутри поплавковой камеры находится полый металлический поплавок (14) со стержнем (13) и стрелкой (7), заканчивающейся пером. Сбоку поплавковой камеры впаяна трубка, в которую вставляется стеклянный сифон (11). На крышке поплавковой камеры смонтирован механизм (5) принудительного слива осадков. Из поплавковой камеры

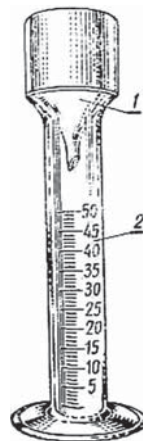


Рис. 8.2. Дождемер полевой М-99:  
1 – воронка; 2 – стакан

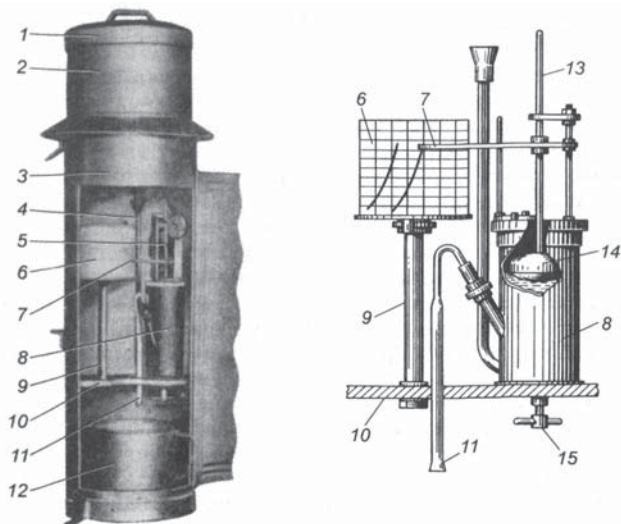


Рис. 8.3. Плювиограф П-2:

1 – крышка; 2 – приёмный сосуд; 3 – кожух; 4 – трубка; 5 – механизм принудительного слива; 6 – барабан; 7 – стрелка; 8 – поплавковая камера; 9 – стойка; 10 – плата; 11 – сифон; 12 – водосборный сосуд; 13 – стержень; 14 – поплавок; 15 – винт

через сифон осадки переливаются в водосборный сосуд (12), находящийся в нижней части кожуха. Рядом с поплавковой камерой на плате укреплена стойка (9) с осью для барабана (6) с часовым механизмом. На барабан надевается бумажная лента. Горизонтальные линии на ней соответствуют количеству осадков, а вертикальные – времени. Одно горизонтальное деление равно 0,2 мм осадков, а одно вертикальное – 10 минут. На крышке поплавковой камеры укреплен арретир, служащий для отвода стрелки от барабана. При выпадении осадков вода из приемного сосуда (2) по сливной трубке попадает в поплавковую камеру (8). При этом поплавок, находящийся в камере, поднимается, и перо стрелки, поднимаемое поплавком, начинает чертить на ленте кривую линию, угол наклона которой зависит от интенсивности осадков. Как только осадки заполняют поплавковую камеру до уровня, на котором находится колено сифона, начинается слив воды из камеры в водосборный сосуд. (Количество осадков потом измеряется и служит для контроля сумм осадков, зарегистрированных плювиографом). В момент слива 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 продолжает запись, поднимаясь вверх. Если осадки прекращаются, перо чертит на ленте горизонтальную линию (рис. 8.4).

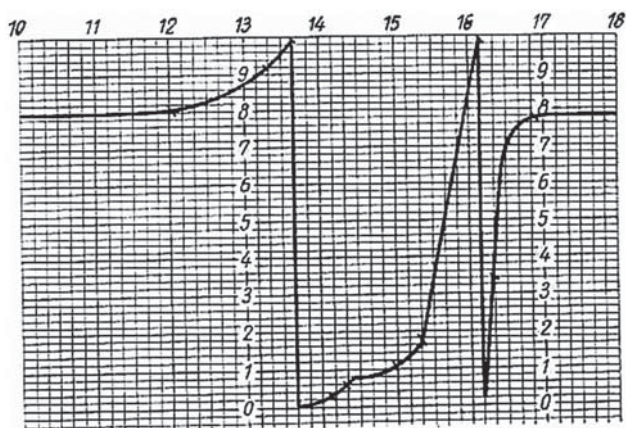


Рис. 8.4. Образец записи на ленте pluвиографа

Плювиограф устанавливают вертикально на открытой площадке на специальном столбе, укреплённом для надёжности проводочными оттяжками. Верхний край pluвиографа должен быть на высоте 2 м от поверхности почвы. Ленты pluвиографа меняют ежедневно, если был дождь (хотя и слабый). При смене лент заводят часовой механизм. В сухую погоду одну ленту используют пять-шесть суток. С началом холодного времени pluвиограф разбирают. Для этого вынимают барабан с часовым механизмом, сифонную трубку, поплавковую камеру и контрольный сосуд. Насухо всё протирают и хранят в помещении. Водосборный приёмник закрывают крышкой. Данные о количестве и интенсивности осадков получают после обработки ленты pluвиографа. Обработку производят для каждого дождя. По записи на ленте отмечают время начала и конца дождя, записывают количество осадков, выпавших за каждый час, вычисляют общую сумму осадков за 24 ч и интенсивность дождя в 1 мин. В труднодоступных местах используют суммарные осадкомеры, а также автоматические радиометрические установки.

Для измерения количества выпавших осадков на уровне почвы используют **почвенный дождемер ГР-28**. Его применяют



для измерения количества жидких осадков, которые наблюдаются на уровне почвы. Используют его преимущественно в комплексе с испарителями. Дождемер состоит из ведра (2) и гнезда (3) (рис. 8.5).

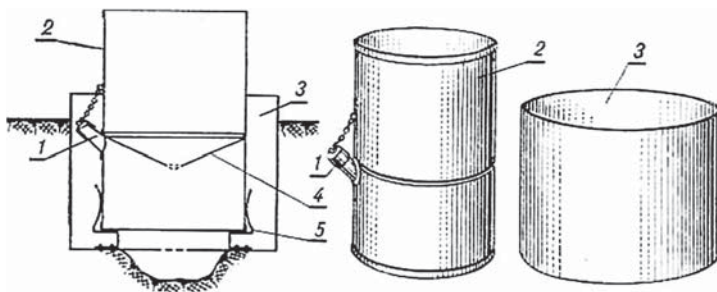


Рис. 8.5. Почвенный дождемер ГР-28:

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

Дождемерное ведро отличается от ведра осадкомера большей площадью поверхности ( $500 \text{ см}^2$ ), с его высотой 400 мм и наличием сплошной конусообразной диафрагмы (4) с отверстием у вершины для стока воды в нижнюю часть ведра. Гнездо изготавливается из листовой стали и имеет форму цилиндра высотой 28 см и диаметром 35 см. В дне гнезда имеются отверстия для стока воды, попавшей в него, и три пружинящие опоры (5) для установки ведра. Устанавливают почвенный дождемер в тёплое время года на открытой площадке в специально подготовленное углубление в почве. Гнездо помещают так, чтобы верхний край выступал над почвой на 5 см, стенки соприкасались с почвой, а под дном его должно быть небольшое углубление диаметром 10–15 см для стока воды из гнезда. После этого на опоры (5) в гнезде горизонтально устанавливают дождемерное ведро. Внутри ведра на расстоянии 230 мм от его верхнего края впаина диафрагма конической формы, у вершины которой имеется шесть отверстий для стока в нижнюю часть ведра осадков, попавших в дождемер. Диафрагма предохраняет собранную влагу от испарения и загрязнения. Под диафрагмой к ведру сбоку припаян носик для слива осадков. Носик закрывают колпачком, прикреплённым к дождемерному ведру цепочкой.

Измерения по дождемеру производят так же, как по осадкомеру. Через носик (1) воду переливают в измерительный стакан и



по уровню воды в нём отсчитывают число делений. стакан имеет 100 делений. Каждое деление равно  $5 \text{ см}^3$  воды, что соответствует 0,1 мм осадков. К данным измерений вводится поправка на смачивание ведра.

### 8.3. Наблюдения за снежным покровом

Эти наблюдения включают измерения средней высоты снежного покрова (см), плотности снега ( $\text{г/см}^3$ ), оценку степени покрытия в окрестности станции поверхности почвы снегом (баллы), характера залегания и структуры снежного покрова (визуально), оценку состояния поверхности почвы под снегом. Этот комплекс измерений и наблюдений проводят с целью определения запасов содержащейся в снеге воды и для оценки состояния зимующих озимых и плодовых культур. Высоту снежного покрова измеряют с помощью снегомерных реек, плотность снега – с помощью снегомера, запас воды в снеге вычисляют или измеряют с помощью специальных приборов.

Различают следующие основные виды наблюдений за снежным покровом: ежедневные, ландшафтно-маршрутные снегомерные съёмки, специальные снегомерные съёмки на сельскохозяйственных полях и в горной местности. Ежедневные наблюдения за снежным покровом ведутся с момента его образования до момента его полного разрушения. Степень покрытия снежным покровом поверхности земли, характер его залегания и структуру снега определяют визуально путём осмотра окрестностей станции с одного и того же возвышенного места вблизи метеорологической площадки.

Степень покрытия поверхности снегом оценивается по 10-балльной шкале (0,1 видимой окрестности принимается равной 1 баллу). В период, когда снегом покрыто более половины видимой окрестности, ежедневно оценивают характер залегания снежного покрова: равномерный без сугробов, неравномерный (небольшие сугробы), очень неравномерный (большие сугробы), а также состояние поверхности почвы: замёрзшая, талая, состояние не известно.

Высота покрова измеряется ежедневно по трём постоянным снегомерным рейкам, установленным в середине площадки в вершинах треугольника со стороны около 10 м.

**Стационарная снегомерная рейка М-103** представляет собой гладко обструганный брусок, изготовленный из сухого дерева,

длиной 180 см (или 130 см), сечением 2,5 см, с ценой деления 1 см и оцифровкой через 10 см. Рейка окрашена белой масляной или эмалевой краской и на лицевой стороне имеет шкалу в сантиметрах. Деления шкалы рейки (через одно) окрашены чёрной краской.

В районах, где высота снежного покрова достигает 2–3 м, рейки необходимо наращивать по мере увеличения высоты снежного покрова. Постоянные снегомерные рейки устанавливаются осенью до образования снежного покрова. В месте установки рейки в землю вбивают деревянный заострённый (или металлический) брусочек длиной 40–60 см, на котором имеется ступенька. К бруску привинчивают (прикрепляют) стандартную снегомерную рейку. При установке нулевое деление рейки должно совмещаться с поверхностью почвы. Отсчёты по рейке делают с одной и той же точки, находясь на расстоянии 3–5 шагов, чтобы не нарушать состояние снежного покрова около рейки. При измерении следует учитывать, что под воздействием ветра около самой рейки часто образуется углубление в снегу, поэтому при отсчёте следует наклоняться как можно ближе к поверхности снежного покрова. Высота снежного покрова вычисляется как средняя из отсчётов по трём рейкам.

При маршрутных съёмках для измерения высоты снежного покрова используют **переносную снегомерную рейку М-104**. Она представляет собой деревянный брусочек длиной 180 см, сечением 4,2 см, со шкалой с ценой деления 1 см и оцифровкой через 10 см. На её нижнем конце имеется железный наконечник, нижний заострённый край которого совпадает с нулём шкалы. Переносные рейки изготавливают также из дюралевых трубок. Для определения высоты снежного покрова переносную рейку погружают заострённым концом вертикально в снег, при этом она должна дойти до поверхности почвы, но не углубляться в неё (не должна также проваливаться покрывающая почву ледяная корка).

По средней высоте снежного покрова (см), его плотности ( $\text{г/см}^3$ ) и степени покрытия его залегающего (оценивается визуально в баллах) определяют величину запасов воды на единице площади. Для измерения плотности снега используют снегомеры.

**Походный весовой снегомер ВС-43** состоит из снегозаборника, весов и лопатки (рис. 8.6).

Снегозаборник состоит из металлического цилиндра, который с одного конца закрывается крышкой (10), а с другого оканчивается кольцевым утолщением (7) с пилообразной режущей кромкой. Вдоль цилиндра (9) нанесена шкала с делениями от нуля,

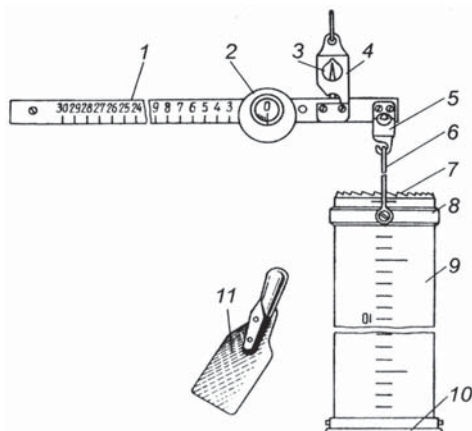


Рис. 8.6. Снегомер весовой:

1 – рейка коромысла; 2 – передвижной груз; 3 – стрелка; 4 – подвес;  
5 – крюк; 6 – дужка; 7 – утолщение с режущей кромкой; 8 – передвижное кольцо; 9 – цилиндр; 10 – крышка; 11 – лопатка

совпадающего с режущей кромкой кольца (7), до 50 см. Высота цилиндра 60 см, площадь его внутреннего поперечного сечения  $50 \text{ см}^2$ . На цилиндре находится свободно передвигающееся кольцо (8) с дужкой (6), за которую заборник подвешивается к весам. Весы состоят из рейки коромысла со шкалой, цена деления которой 5 г. К рейке прикреплены две призмы: одна ребром опирается на подвес (4), имеющий кольцо, за которое удерживаются весы при взвешивании; снегозаборник подвешивается к крюку (5), опирающемуся на вторую призму. Для уравнивания весов служит свободно передвигающийся по рейке (1) груз (2), через отверстие которого видна шкала. На нижней скошенной кромке отверстия имеется риска, служащая указателем для отсчёта по шкале весов при их уравнивании. Равновесие весов определяется по совпадению стрелки (3), укрепленной на рейке (1), с вершиной узкой верхней части окошка подвеса (4). Контроль нуля весов осуществляется при уравнивании их снегозаборником с пустым цилиндром.

Измерения на маршруте с помощью снегомера производят в следующем порядке. Проверяют показания весов при взвешивании пустого снегозаборника (эти показания с обратным знаком принимают за поправку при дальнейшем взвешивании). Снимают снегозаборник и отвесно погружают его режущей кромкой в снег

до соприкосновения его нижнего края с поверхностью почвы. Отсчитывают высоту снежного покрова по шкале цилиндра. Лопаточкой счищают снег с одной стороны заборника, аккуратно подсовывают её под его режущий край так, чтобы весь снег, заключённый в цилиндре, остался в нём. Не отнимая лопатки, вынимают заборник и переворачивают его кромкой кверху. Очищают заборник от приставшего снаружи снега, подвешивают его к крюку весов (став спиной к ветру) и, держа в руке весы за кольцо, взвешивают заборник со снегом, для чего уравнивают цилиндр со снегом и отсчитывают деление шкалы весов. Результат записывают.

В тех случаях, когда снежный покров выше 60 см, весь столб снега вырезают последовательно в несколько приёмов. Если на почве имеется вода или снег, насыщенный водой, то цилиндр снегомера не должен захватывать этот слой. Пробу не берут, если высота снежного покрова меньше 5 см в радиусе 5 м от очередной точки или в этом месте имеется только снег, насыщенный водой, только талая вода или только ледяная притёртая корка (либо всё это вместе).

После взятия пробы снегомером (до её взвешивания) в этой же точке измеряется толщина слоя талой воды, снега, насыщенно-водой, притёртой ледяной корки. Первые два вида определения можно делать снегомерной рейкой или лопаточкой снегомера (с точностью до 1 см). Толщина ледяной корки должна измеряться после того, как она пробита рейкой или зубилом, или линейкой (с точностью до 1 мм).

*Плотность снега* – это отношение объёма воды, полученной при растапливании некоторого количества снега, к объёму снега в тех же единицах  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>). Плотность снега сильно изменяется в зависимости от возраста снежного покрова и его состояния. Например, в начале зимы в Ленинградской области плотность снега составляет 0,07 г/см<sup>3</sup>, а к началу весны она достигает 0,32 – 0,35 г/см<sup>3</sup>.

Масса пробы снега в цилиндре соответствует массе воды, которая образуется при таянии этого количества снега. По шкале весов, цена деления которой равна 5 г, определяют массу взятой пробы снега  $m$ . Поскольку плотность воды равна 1 г/см<sup>3</sup>, то массу воды  $5n$ , где  $n$  – число делений по шкале весов, можно приравнять к её объёму (см<sup>3</sup>). Площадь сечения цилиндра  $S$  равна 50 см<sup>2</sup>, высота снежного покрова равна  $h$  (см) – отсчёт по шкале цилиндра. Тогда плотность снега равна

$$\rho = 5m/Sh = 5m/50h = m/10h. \quad (8.1)$$

При каждом измерении плотности снега записывают значения, полученные по шкале цилиндра и по линейке весов.

Зная высоту ( $h$ ) и плотность снега ( $\rho$ ), не сложно рассчитать запас воды в снеге  $Z$  (мм)

$$Z = 10h\rho. \quad (8.2)$$

В сельскохозяйственной практике обычно все расчёты ведутся в кубических метрах или в тоннах на 1 гектар (т/га). Тогда

$$Z = 100h\rho. \quad (8.3)$$

Запасы воды в снеге определяют также гамма-снегомером и другими приборами с применением радиоизотопов по величине радиоактивного излучения. Принцип работы таких приборов основан на ослаблении интенсивности излучения после прохождения через толщу снежного покрова обычно пропорциональному количеству воды в снеге.

#### 8.4. Измерение и расчёт испарения и испаряемости

Физическое *испарение* – это процесс перехода вещества из жидкого и твёрдого состояния в парообразное. Сущность этого процесса заключается в отрыве молекул воды от её поверхности или от влажной почвы и переходе этих молекул в виде водяного пара в воздух. Одновременно происходит обратный процесс перехода молекул из воздуха в воду или почву. Когда достигается состояние подвижного равновесия – возвращение молекул становится равным их отдаче с поверхности – испарение прекращается. Точнее – отрыв молекул с поверхности продолжается, но он уравновешивается возвращением молекул. Такое состояние называется *насыщением*, водяной пар в этом состоянии – *насыщающим*, а воздух, содержащий насыщающий водяной пар, – *насыщенным*. Парциальное давление насыщенного водяного пара растёт с температурой, например:

Температура, °С	0	+10	+20	+30
Давление, гПа	6,1	12,3	23,4	42,4

Величину испарения выражают толщиной слоя испарившейся воды в предположении, что вода равномерно размещена на горизонтальной поверхности. Толщина слоя испарившейся воды определяется с точностью до 0,1 мм.

Для практических целей агроному важно помнить, что слой воды высотой 1 мм, испарившейся с площади 1 м<sup>2</sup>, соответствует

массе 1 кг. А слой воды в 1 мм, испарившейся с площади 1 га (10 000 м<sup>2</sup>), соответственно равен 10 м<sup>3</sup>/га или 10 т/га.

Количественно испарение характеризуется *скоростью испарения* ( $V$ ), выражаемой в миллиметрах слоя воды в единицу времени с единицы поверхности. Согласно закону Дальтона,  $V$  прямо пропорциональна разности между давлением насыщенного водяного пара при температуре испаряющей поверхности и фактическим давлением водяного пара в воздухе:  $E_t - e$ . Чем меньше эта разность, тем медленнее идет испарение, т. е. тем меньше водяного пара переходит в воздух за единицу времени. Скорость испарения зависит также от ветра ( $v$ ), поскольку ветер и связанная с ним турбулентность переносят водяной пар от испаряющей поверхности и поддерживают необходимый дефицит насыщения в непосредственной близости от него. Кроме того, скорость испарения ( $V$ ) обратно пропорциональна атмосферному давлению ( $p$ ). Влияние атмосферного давления ( $p$ ) заметно лишь в горах на разных высотах. Снижение атмосферного давления в высокогорных условиях облегчает отрыв молекул от испаряющей поверхности, т. е. скорость испарения с высотой возрастает. Этим объясняется тот факт, что точка кипения воды в высоких горах ниже 100 °С, поэтому продолжительность варки продуктов питания увеличивается. Таким образом, зависимость скорости испарения от метеорологических параметров выражается формулой

$$V = k (E_t - e) \cdot f(v) / p, \quad (8.4)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от скорости ветра;  $E_t$  – парциальное давление насыщающего водяного пара, максимально возможное при данной температуре воздуха;  $e$  – парциальное давление водяного пара (фактическое);  $f(v)$  – функция ветра.

Скорость испарения возрастает по мере увеличения разности ( $E_t - e$ ), функция ветра  $f(v)$  объясняется турбулентной диффузией водяного пара, например, на ветру быстрее высыхают мокрые предметы. Для измерения испарения из почвы используют различные модификации почвенных испарителей, среди которых широкое распространение имеют ГГИ-500-50 см (он же ГР-25) и ГГИ-500-100 см (он же ГР-26), различающиеся высотой внутреннего цилиндра (рис. 8.7).

Почвенный испаритель ГГИ-500-50 состоит из внутреннего цилиндра (1), его высота 50 см и площадь испаряющей поверхности 500 см<sup>2</sup>. В этот цилиндр вставляют почвенный монолит с

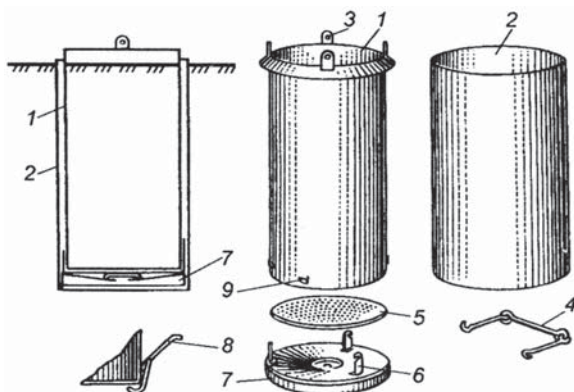


Рис. 8.7. Почвенный испаритель ГГИ-500-50

ненарушенным строением и растениями (посеянные культуры или естественная растительность). В верхней части внутреннего цилиндра закреплены четыре ушка (3) для двух ручек (4), используемых для подъёма, переноски внутреннего цилиндра испарителя и его взвешивания на весах. Внешний цилиндр (2) с глухим дном закапывают в почву так, чтобы его верхний край возвышался над уровнем почвы не более чем на 1,5 см. Этот цилиндр предназначен для установки в него внутреннего цилиндра с почвенным монолитом. Внутренний цилиндр имеет съёмное дно (5) с отверстиями диаметром 2 мм для стекания просочившейся воды через почвенный монолит. Водосборный сосуд (7) прикрепляется к цилиндру с помощью трёх планок (6), закрепляемых тремя защёлками (8) и упорами (9), расположенными в нижней части внутреннего цилиндра (1). Водосборный сосуд (7), представляющий собой цилиндр высотой 30 см с воронкой вверху (диаметром 40 мм), ставят на дно внешнего цилиндра (2). Боковое отверстие у водосборного сосуда диаметром 10 мм предназначено для слива воды в дождемерный стакан. В комплект входят также весы, размещённые в специальной будке, подъёмное устройство (ГР-22), почвенный дождемер (рис. 8.5) и дождемерный стакан.

Измерение осадков, собранных дождемером и просочившихся через почвенный монолит в водосборный сосуд за период между сроками наблюдений, производится с помощью дождемерного стакана. Шкала измерительного стакана имеет 100 делений; цена деления  $2 \text{ см}^3$ , что при площади  $200 \text{ см}^2$  соответствует  $0,1 \text{ мм}$  осадков ( $2 \text{ см}^3 / 200 \text{ см}^2 = 0,01 \text{ см}$ ). Величину испарения определяют

по разности результатов измерений по испарителю и дождемеру через заданные промежутки времени

$$E = 0,02 (m_1 - m_2) + r_1 - r_2, \quad (8.5)$$

где  $E$  – испаряющийся слой воды между двумя сроками взвешивания (мм);  $m_1$  и  $m_2$  – масса монолита в предыдущий и текущий сроки взвешивания (г) соответственно;  $r_1$  – количество осадков по почвенному дождемеру, мм;  $r_2$  – количество осадков, просочившихся в водосборный сосуд между сроками наблюдений, мм; 0,02 – множитель для перевода килограммов в миллиметры.

На рис. 8.8 и 8.9 показаны этапы взвешивания испарителей ГГИ-500-50 в полевых условиях.

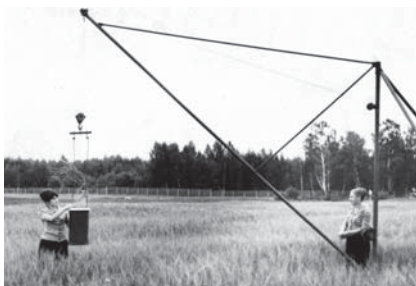


Рис. 8.8. Подъемное устройство (ГР-22) испарителя ГГИ-500-50 для перемещения цилиндра с почвенным монолитом на весы



Рис. 8.9. Взвешивание испарителя с почвенным монолитом массой до 50 кг обеспечивает достаточную точность на весах, установленных в поле.

На почвенно-испарительной площадке приборы устанавливаются на одной линии, проходящей посередине площадки, через 3 м один от другого. Здесь же размещают подъемное устройство (рис. 8.8) и весы (рис. 8.9), которые хранятся в защитной будке.

Испарение влаги с полей, занятых сельскохозяйственными посевами, также определяют только в тёплое время года с помощью испарителя ГГИ-500-50, в который помещают почвенный монолит с растущей сельскохозяйственной культурой. Испарение с поля рассчитывают по запасам влаги, содержащейся в корнеобитаемом слое почвы (0–100 или 0–50 см) по формуле:

$$E_u = r + (W_n - W_k), \quad (8.6)$$

где  $E_u$  – испарение за исследуемый период, мм;  $r$  – осадки, выпавшие на поверхность поля за этот же период, мм;  $W_n$  и  $W_k$  – начальные и конечные запасы влаги в заданном слое почвы, мм.



Испаряемость  $E_o$  – это максимально возможное (потенциальное) испарение с единицы поверхности воды или переувлажнённой почвы при конкретных метеорологических условиях. Испаряемость определяют для того, чтобы иметь представление о *предельно возможном испарении* (т. е. при неограниченных запасах влаги) в конкретной местности для оценки средней многолетней величины влагообеспеченности растений и расчёта мероприятий по орошению. Для почвы с недостаточным увлажнением фактическое испарение всегда меньше, чем с водной поверхности в тех же условиях, т. е. меньше испаряемости потому, что не хватает влаги, которая могла бы испариться. Так, например, в засушливых районах Среднеазиатского региона испаряемость достигает 1340–1800 мм/год, а испарение составляет 150–200 мм/год вследствие большого дефицита насыщения при высоких температурах и малого количества осадков за год (150–300 мм). На Европейской территории России испаряемость увеличивается с северо-запада на юго-восток вместе с ростом дефицита насыщения: испаряемость в Ленинградской области 320 мм при среднегодовой сумме осадков 650 мм.

Для климатических оценок испаряемости используют также различные эмпирические формулы. Широкое распространение получила формула Н. Н. Иванова

$$E_t = 0,0018 (25 + t) 2 \cdot (100 - a), \quad (8.7)$$

где  $E_t$  – испаряемость за месяц (мм);  $t$  – средняя месячная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ );  $a$  – средняя месячная относительная влажность воздуха (%).

Испаряемость можно также рассчитать по графику связи величины  $E_t$  с температурой воздуха и величиной парциального давления (упругости) водяного пара, предложенному А.Р. Константиновым (рис. 8.10).

Например, упругость водяного пара  $e = 15$  гПа,  $t = 25$   $^{\circ}\text{C}$ . Точка пересечения этих значений находится в поле графика между изолиниями 6 и 7 мм.

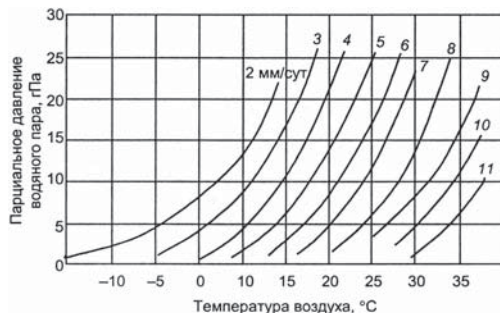


Рис. 8.10. Зависимость максимально возможного испарения (испаряемости) при оптимальном увлажнении почвы (мм/сут) от температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) и парциального давления водяного пара (гПа)

Следовательно, максимально возможное испарение при данных условиях составляет 6,5 мм/сутки.

*Задания*

1. Определить испарение с поверхности почвы за 5 суток, если масса монолита в начале периода составила 43 кг, в конце периода 42,9 кг. Количество осадков за этот период 3,0 мм. Просачивания осадков через монолит не было. (Ответ: 5 мм).

2. Определить среднее суточное испарение с почвы, если по испарителю ГГИ-500-50 за пятидневку получены следующие данные:

Период	Масса монолита, кг	Количество осадков, мм	Просачивание, мм
1...5 V	M1 = 44,52; M2 = 42,68	10	3
11...15 V	M1 = 43,80; M2 = 41,78	6	2

(Ответ: 8,8 и 8,9 мм/сут).

3. Определить по графику А. Р. Константинова (рис. 8.10) парциальное давление водяного пара, если испаряемость за сутки составила 4 мм при средней суточной температуре воздуха 13,5 °С.

(Ответ: 8 гПа).

**Контрольные вопросы**

1. Как измеряют атмосферные осадки на метеорологических станциях и постах?
2. Расскажите об устройстве основных средств измерения осадков на сети станций и постов.
3. Как рассчитать объём (м<sup>3</sup>) выпавших осадков по данным наблюдательной сети?
4. Для чего необходимы знания о количестве выпавших осадков в зимний период?
5. Как измеряют осадки на метеорологических станциях и постах?
6. Какими приборами и средствами измерения проводят определение высоты и плотности снежного покрова? Для чего необходимы количественные сведения о состоянии снежного покрова?
7. С какой целью проводятся снегомаршрутные наблюдения на полях?
8. Дайте определения понятий «испарение» и «испаряемость». В чём их различия?
9. Как рассчитывается величина испарившейся влаги?
10. Расскажите об устройстве испарителя ГГИ-500-50 и принципах проведения наблюдений на этом приборе.
11. Какими методами вычисляется испарение с поверхности водоёмов и сельскохозяйственных полей?

## Глава 9

### ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕТРА

#### 9.1. Характеристики ветра, определяемые на метеорологических станциях

Ветер – это горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Причиной возникновения ветра является неравномерное распределение давления по поверхности Земли, связанное с неодинаковым нагревом участков суши и водных пространств. Основными характеристиками ветра являются скорость, направление и порывистость.

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

*Направление ветра* определяют той частью горизонта, откуда дует ветер, и выражают в румбах горизонта или в угловых градусах. Направление ветра в румбах определяют по 16-румбовой системе (рис. 9.1).

Для обозначения румбов используют начальные буквы стран света: С – север, ССВ – северо-северо-восток, СВ – северо-восток, ВСВ – восток-северо-восток, В – восток, ВЮВ – восток-юго-восток, ЮВ – юго-восток, ЮЮВ – юго-юго-восток, Ю – юг, ЮЮЗ – юго-юго-запад, ЮЗ – юго-запад, ЗЮЗ – запад-юго-запад, З – запад, ЗСЗ – запад-северо-запад, СЗ – северо-запад, ССЗ – северо-северо-запад.

При измерении направления в градусах принимают север за 360 или 0°, восток – 90°, юг – 180°, запад – 270°. Расстояние между соседними румбами составляет 22,5°.

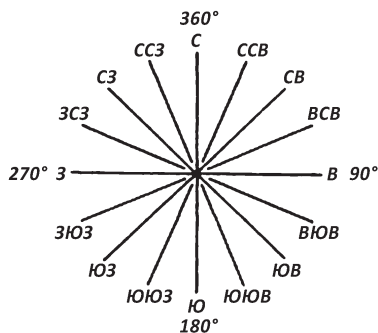


Рис. 9.1. Расположение румбов

*Порывистость ветра* – это колебания (пульсации) скорости и направления ветра с временными интервалами не более нескольких секунд, кратковременные и значительные их отклонения от средних значений.

Обычно скорость и направление ветра в большей или меньшей степени колеблются вследствие турбулентности воздушного потока. Поэтому при наблюдениях эти величины определяют как слагаемые, осреднённые величины за некоторый промежуток времени. Ветер скоростью 5–8 м/с считается *умеренным*, выше 14 м/с – *сильным*, выше 20–25 м/с – *штормовым*, выше 30–35 м/с – *ураганом*. Резкие кратковременные (порывы) усиления ветра  $\geq 20$  м/с называются *шквалами*. Полное безветрие называется *штилем*.

Порывы, т. е. скачкообразные усиления и ослабления ветра при средней его скорости 5–10 м/с в среднем составляют  $\pm 3$  м/с, а при скорости 11–15 м/с возрастают до  $\pm 5$  м/с. Порывистость ветра обусловлена турбулентной природой движения воздуха, его термической неоднородностью. Ветер всегда обладает турбулентностью. В воздухе возникают многочисленные беспорядочно движущиеся вихри и струи разных масштабов и интенсивности. Турбулентность возникает вследствие различия скоростей ветра в смежных слоях воздуха. Особенно велика она в нижних слоях атмосферы, где скорость ветра быстро растёт с высотой.

Для перевода скорости ветра, измеренного в м/с, в км/ч, следует величину скорости в м/с умножить на 3,6. Например, при скорости ветра 20 м/с умножаем 20 на 3600 с (т. е. 1 час) и делим на 1000 м (т. е. 1 км) = 72 км/ч. Чем выше скорость ветра, тем больше турбулентность, тем сильнее порывы ветра.

Горизонтальное движение воздуха происходит под влиянием силы *барического градиента* (или градиента давления), это вектор, характеризующий степень изменения атмосферного давления в пространстве, т. е. изменение давления на единицу расстояния в том направлении, в котором давление убывает наиболее быстро. Барический градиент практически определяется падением давления в (гПа) на расстоянии, равном 100 км (примерно  $1^\circ$  меридиана). Обычно его величина составляет 1–3 гПа на 100 км. Помимо барического градиента на горизонтальное движение ветра воздействуют силы трения воздуха о подстилающую поверхность, проявляющиеся в основном в нижних десятках (сотнях) метров.

Значение ветра в сельском хозяйстве велико и разнообразно. Ветер обуславливает перемешивание воздуха, поддерживая постоянство газового состава атмосферы, перенос водяного пара

и тепла на земной поверхности, оказывает влияние на режим основных метеорологических факторов в приземном слое в среде обитания растений. Ветер способствует опылению цветущих растений и переносу зрелых семян дикорастущих форм растительности.

От скорости ветра зависят величины испарения с поверхности и из верхних горизонтов почвы, а также транспирации растений. При сильном ветре, высокой температуре воздуха и низкой его влажности (суховей) в результате иссушения поверхностных горизонтов почвы происходит увядание растений. Значительное усиление ветра может сопровождаться развитием пыльных бурь. Сильный ветер наносит большой вред посевам, вызывая полегание зерновых культур, также садам, виноградникам, повреждая их побеги, лозу, а также опадение невызревших плодов и т. п.

Скорость и направление ветра необходимо учитывать при проведении механизированной подкормки посевов минеральными удобрениями, при опылении посевов и садов ядохимикатами с помощью летательных аппаратов, при орошении дождеванием и пр. Рациональное размещение лесных, полезащитных полос и посевов высокоствольных культур (кулис) немыслимо без учёта направления господствующих ветров; при осуществлении мероприятий по снегозадержанию и борьбе с ветровой эрозией, при выборе мест для строительства ферм и жилых помещений.

## 9.2. Приборы для измерения направления и скорости ветра

Простейшим приспособлением для определения направления ветра является *ветровой конус* – это матерчатый конической формы рукав, широким концом натянутый на металлическое кольцо (рис. 9.2).

Ветровой конус присутствует в каждом аэропорту, вблизи взлётно-посадочных полос. Он является надёжным прибором для визуальной оценки пилотом направления ветра при посадке и взлете летательного аппарата.

Часто для определения направления ветра пользуются *флюгарками*, имеющими разные формы, иногда шутливые (рис. 9.3).

Под влиянием ветра флюгарка располагается по направлению ветра, причём уравнивающий



Рис. 9.2. Ветровой конус



Рис. 9.3. Пример шутливой флюгарки

груз (противовес) всегда будет направлен в ту сторону, откуда дует ветер. При отсутствии на метеостанции электрического питания параметры ветра измеряют по комплексу флюгеров, разработанных ещё в 60-х годах XIX века профессором Г. И. Вильдом: флюгером с лёгкой доской (200 г) измеряют скорость ветра от 0 до 10 м/с (верхний предел до 20 м/с); флюгером с тяжёлой доской (800 г) – от 10 до 40 м/с. Поэтому метеорологические площадки, расположенные в зонах с широким диапазоном скоростей ветра, устанавливают два флюгера: с лёгкой доской (флюгер Вильда – ФВЛ) и тяжёлой доской (флюгер Вильда – ФВТ). Эти «древние» приборы применяются на многих станциях благодаря их простоте, отсутствию зависимости от энергопитания и минимальной потребности в их техническом обслуживании (рис. 9.4).

Суточная динамика скорости ветра зависит в первую очередь от температуры воздуха. Максимальные величины отмечаются в дневное время, после полудня, минимальные – перед восходом солнца. Суточные колебания скорости наиболее резко выражены в тёплый период и в меньшей степени – зимой.

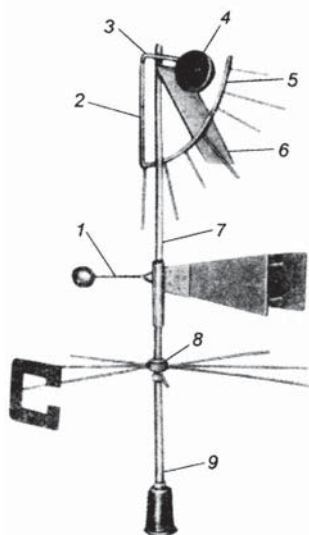


Рис. 9.4. Флюгер стационарный ФВЛ и ФВТ (Вильда)

Флюгер **станционный (флюгер Вильда)**. Приёмником направления ветра служит флюгарка (1) с противовесом, который служит для фиксации направления ветра. Она укреплена на трубке (7), которая надевается на заострённый конец неподвижной оси (9) и свободно вращается вокруг неё. Для определения стран света на неподвижной оси расположена муфта (8) с восемью штифтами, указывающими направления стран света. К одному из штифтов прикреплена буква С (север). На верхней части оси

груз (противовес) всегда будет направлен в ту сторону, откуда дует ветер. При отсутствии на метеостанции электрического питания параметры ветра измеряют по комплексу флюгеров, разработанных ещё в 60-х годах XIX века профессором Г. И. Вильдом: флюгером с лёгкой доской (200 г) измеряют скорость ветра от 0 до 10 м/с (верхний предел до 20 м/с); флюгером с тяжёлой доской (800 г) – от 10 до 40 м/с. Поэтому метеорологические площадки, расположенные в зонах с широким диапазоном скоростей ветра, устанавливают два флюгера: с лёгкой доской (флюгер Вильда – ФВЛ) и тяжёлой доской (флюгер Вильда – ФВТ). Эти «древние» приборы применяются на многих станциях благодаря их простоте, отсутствию зависимости от энергопитания и минимальной потребности в их техническом обслуживании (рис. 9.4).

смонтирован приёмник скорости ветра. Им служит прямоугольная металлическая доска (пластина) (6), свободно качающаяся около горизонтальной оси (3), закреплённой в упорах рамки (2) перпендикулярно флюгарке.

Рамка имеет дугу (5) с восемью штифтами, по которым отсчитывают положение доски, отклоняющейся под действием ветра, и противовес (4) для уравнивания дуги. Штифты нумеруются от 0 до 7. Для удобства отсчёта чётные штифты (0, 2, 4, 6) длиннее нечётных (1, 3, 5, 7). Каждому штифту соответствует определённая скорость ветра, для определения которой используют градуировочную таблицу (табл. 9.1).

Таблица 9.1

**Градуировочная таблица флюгеров с лёгкой и тяжёлой доской**

Положение доски	Скорость ветра, м/с		Положение доски	Скорость ветра, м/с	
	Лёгкая доска (ФВЛ)	Тяжёлая доска (ФВТ)		Лёгкая доска (ФВЛ)	Тяжёлая доска (ФВТ)
Штифт 0	0	0	Штифт 4	8	16
Между штифтами 0 и 1	1	2	Между штифтами 4 и 5	9	18
Штифт 1	2	4	Штифт 5	10	20
Между штифтами 1 и 2	3	6	Между штифтами 5 и 6	12	24
Штифт 2	4	8	Штифт 6	14	28
Между штифтами 2 и 3	5	10	Между штифтами 6 и 7	17	34
Штифт 3	6	12	Штифт 7	20	40
Между штифтами 3 и 4	7	14	Выше штифта 7	Более 20	Более 40

Устанавливают флюгер на мачте высотой 10–12 м так, чтобы штифт с буквой *C* или *N* (nord) был направлен строго на север. Кроме того, воздушный поток не должен экранироваться окружающими предметами, что неизбежно приводит к искажению показаний скорости и направления ветра.

Измерение направления ветра определяется по положению флюгарки, устанавливающейся в потоке под действием самого потока воздуха. При определении направления ветра наблюдатель стоит под указателем направления ветра, следит за положением противовеса флюгарки относительно указательных штифтов и отмечает среднее положение противовеса за 2 мин. Для измерения скорости

ветра необходимо несколько отойти от мачты флюгера и встать так, чтобы доска и дуга со штифтами были хорошо видны. Скорость ветра непрерывно изменяется. Поэтому отмечают номер штифта, соответствующего среднему положению доски в течение 2 мин. После этого скорость ветра по номеру штифта переводят в м/с по табл. 9.1. Например, номер штифта от 1 до 2 – скорость ветра 3 м/с, штифт 2 – скорость ветра 4 м/с и т. п. Измерения по флюгеру также позволяют визуально определить характер ветра (ровный, порывистый, меняющий своё направление) и максимальную скорость.

Приборы, служащие для измерения скорости ветра, называются *анемометрами* (от греч. слова «анемос» – ветер), например, анемометр ручной чашечный. Приборы для измерения скорости и направления ветра называются *анеморумбометрами*. Приборы, регистрирующие скорость и направление ветра, называются *анемографами*.

**Анемометр ручной чашечный МС-13** предназначен для измерения скорости ветра в полевых условиях (рис. 9.5).

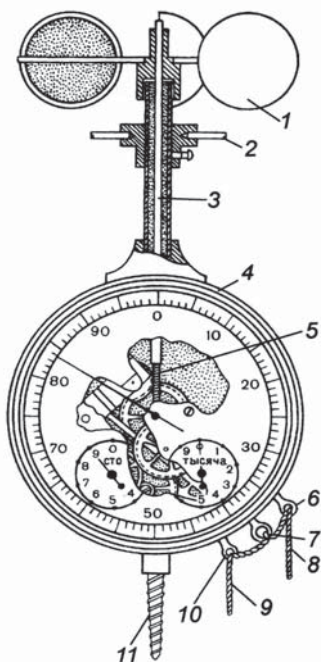


Рис. 9.5. Анемометр ручной чашечный МС-13

Его часто используют при агрометеорологических наблюдениях в лесополосах, на полях с сельскохозяйственными культурами, в промышленных условиях.

Чувствительным элементом анемометра является вертушка (1) с четырьмя полушариями, обращёнными выпуклостями в одну сторону, которая защищена от механических повреждений металлическими дужками (2). Вертушка насажена на ось (3). В нижней части ось имеет червячную (винтовую) нарезку (5), соприкасающуюся с зубчатым колесом, которое передаёт вращение вертушки счётному механизму. Счётный механизм помещен в корпусе (4) и представляет собой систему зубчатых колес, связанных с тремя стрелками, которые при вращении вертушки перемещаются по трём шкалам. Большая центральная шкала имеет 100 делений. По этой шкале отсчитывают десятки



и единицы оборотов. Малые шкалы имеют по 10 делений и служат для отсчёта сотен и тысяч оборотов. При полном обороте стрелки по большой шкале стрелка на шкале «сотни» поворачивается.

Арретир (7) используют для включения и выключения счётно-го механизма. Движением арретира вверх (против часовой стрелки) счётчик анемометра включают, а движением вниз (по часовой стрелке) – выключают. В корпусе прибора по обе стороны арретира ввинчены два ушка (6) и (10), через которые протягиваются концы шнура (8), (9), прикреплённого к кольцу (7) для включения и выключения прибора, когда его нельзя достать рукой. Для установки анемометра на столбе в нижней части корпуса имеется винт (11).

Ручной анемометр достаточно прост в работе, его можно держать на вытянутой руке плоской поверхностью корпуса параллельно направлению ветра, шкальной стороной к наблюдателю или установить на столбе нужной высоты, ввинчивая винт (11) в верхушку столба.

Порядок работы с анемометром МС-13: перед измерением скорости ветра записывают показания по трём шкалам. В измеряемом воздушном потоке анемометр МС-13 устанавливают вертикально и через 10–15 с одновременно включают арретиром механизм анемометра и секундомер. Экспонирование анемометра в воздушном потоке производят в течение одной или двух минут. По истечении этого времени анемометр и секундомер выключают и записывают показания по шкалам анемометра и время экспозиции в секундах (табл. 9.2). Разность между конечным и начальным отсчётом делят на время экспозиции и определяют число делений шкалы, приходящихся на одну секунду. Скорость ветра определяется по градуировочному графику (рис. 9.6), приложенному к анемометру. На вертикальной оси графика находят число делений шкалы, приходящихся на одну секунду. От этой точки проводится горизонтальная линия до пересечения с прямой графика, а из точки пересечения проводится вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения вертикали с горизонтальной осью графика даёт искомую скорость воздушного потока в м/с.

Таблица 9.2

#### Форма записи измерений

Место измерений	Время	Отсчёты		Разность отсчётов	Время работы прибора, с	Число оборотов в 1 с	Скорость ветра, м/с
		начальный	конечный				

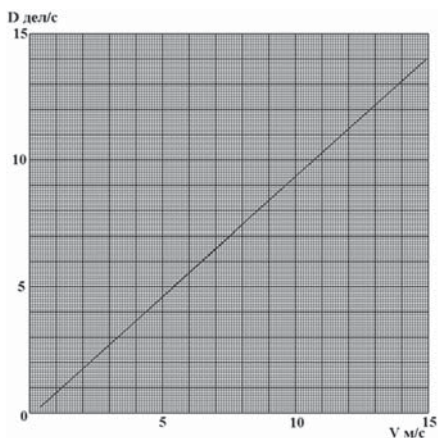


Рис. 9.6. График зависимости делений в секунду по шкале анемометра  $D$  (дел/с) от скорости воздушного потока  $V$  (м/с)



Рис. 9.7. Анемометр ручной индукционный АРИ-49

В период между наблюдениями анемометр хранится в футляре с выключенным механизмом.

Для измерения усреднённого значения скорости ветра в наземных условиях используют также **анемометр ручной индукционный АРИ-49** (рис. 9.7), с диапазоном измерения скорости ветра от 2,0 до 30 м/с. Достоинством данного прибора является шкала, градуированная в м/с.

**Анеморумбометр М-63М-1** — дистанционный прибор, который измеряет мгновенную, среднюю и максимальную скорость, а также направление ветра. В состав анеморумбометра входят: датчик ветра, пульт, преобразователь (для исполнения с выходом на компьютер), соединительные кабели (рис. 9.8).

Принцип работы анеморумбометра основан на использовании зависимостей между скоростью ветра и

числом оборотов вертушки, между направлением ветра и положением свободно ориентирующейся флюгарки датчика ветра. При этом скорость и направление ветра преобразуются в частоту следования и фазовый сдвиг последовательностей электрических импульсов, которые после дальнейших преобразований в пульте позволяют производить отчёты параметров ветра. Программой предусмотрено также осреднение значений направления и скорости ветра с произвольным выбором периода осреднения. Датчик ветра предназначен для преобразования скорости и направления ветра в частоту следования и фазовый сдвиг последовательностей электрических импульсов при

помощи двух импульсаторов, выполненных на герконах.

При установке анеморумбометра на месте эксплуатации пульт и преобразователь (для исполнения с выходом на компьютер) находятся в помещении; датчик ветра – на метеорологической площадке на мачте. При выборе места установки датчика ветра необходимо учитывать, что к датчику ветер должен доходить свободно без



Рис. 9.8. Общий вид анеморумбометра М-63М-1

искажений. Искажения в ветровой поток могут вносить близлежащие строения, деревья, рельеф местности. Поэтому датчик ветра следует размещать от высоких предметов на расстояние не менее 10-кратной их величины. Допускается установка датчика ветра на крыше здания. При этом необходимо, чтобы он возвышался над крышей здания не менее чем на 4 м.

Порядок работы: наблюдения по анеморумбометру сводится к отсчётам параметров ветра по индикаторам пульта *скорость* и *направление*. Измерение мгновенной и максимальной скорости и направления ветра осуществляется непрерывно. Обновление значений скоростей ветра на индикаторах пульта происходит через каждые 3 с, а значений направления ветра – через каждые 1,5 с.

Измерение параметров ветра осуществляется следующим образом:

- включить тумблером СЕТЬ питание анеморумбометра; при этом должен загореться светодиод наличия питания;
- нажать кнопку РАБОТА;
- для измерения мгновенной скорости и направления ветра необходимо нажать кнопку МГН и отсчитывать их значения по индикаторам СКОРОСТЬ и НАПРАВЛЕНИЕ;
- для измерения максимальной скорости ветра необходимо нажать кнопку МАКС; при этом на индикаторах СКОРОСТЬ появляется числовое значение максимальной скорости ветра за предыдущий синоптический срок;
- для измерения средней скорости ветра необходимо нажать кнопку СРЕДН. и кнопку 2 мин (10 мин); при этом на индикаторах

СКОРОСТЬ появляются символы «— —» и сохраняются на время набора средней скорости ветра; через время 2 мин (10 мин) символы сменяются числовым значением средней скорости ветра.

*Примечание.* При нажатии кнопки на пульте должен загореться соответствующий светодиод кнопки.

### 9.3. Роза ветров

Роза ветров – это графическое изображение (диаграмма) преобладающего направления ветра в пункте наблюдения за определённый период (месяц, сезон, год и более), характеризующее в метеорологии и климатологии режим ветра. Эта диаграмма выглядит как многоугольник, у которого длины лучей, расходящихся от центра диаграммы в разных направлениях (румбах горизонта), пропорциональны повторяемости ветров этих направлений («откуда» дует ветер).

Роза ветров, отражающая ветровой режим, является важной характеристикой агроклиматических ресурсов территории (местности, в которой произведены измерения). Такие диаграммы используются при проектировании размещения посевов, лесопарковых насаждений, в сельскохозяйственном производстве и градостроительстве с целью охраны здоровья людей от загрязнения воздушного бассейна. Кроме этого, розы ветров учитывают при строительстве взлётно-посадочных полос аэродромов, транспортных коммуникаций, при планировке населённых пунктов, имея в виду целесообразную ориентацию улиц и зданий, а также оценку взаимного расположения жилищного массива и промышленной зоны. Это необходимо в первую очередь для учёта направления преобладающего переноса выбросов промышленных примесей в сторону жилых районов и т. п.

Роза ветров, построенная по фактическим данным наблюдений, позволяет по длине лучей построенного многоугольника выявить направление преобладающего ветра, со стороны которого чаще всего приходит воздушный поток в данную местность. Поэтому розы ветров, построенные для конкретных территорий, имеют существенные различия.

Помимо господствующего направления ветра роза ветров позволяет изучать частоту (повторяемость) ветров по временным признакам – время суток, день, месяц, год, а также скорость ветра, его продолжительность число минут в сутки, в час. Приведённые

ниже примеры (рис. 9.9 и 9.10) показывают различные варианты прочтения диаграмм, если к ним отсутствуют пояснения.

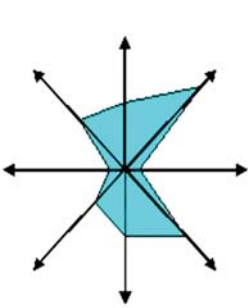


Рис. 9.9. Восьмилучевая роза ветров

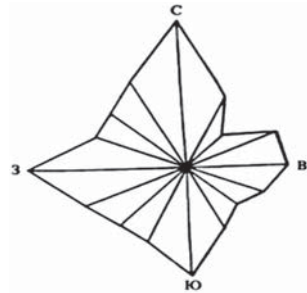
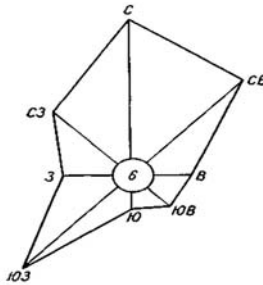


Рис. 9.10. 16-лучевая роза ветров

Здесь подразумевается такое же расположение сторон света, как на компасе. На каждом из лучей отмечена точка, расстояние от которой до центра представляет собой (в принятом масштабе) количество суток за прошедший месяц, когда преобладал ветер данного направления. Точки на лучах, соединенные между собой, образуют многоугольник, заштрихованный для наглядности.

На 16-лучевой розе ветров стороны света указаны в виде буквенных обозначений. Каждый из 16 лучей, характеризующий то или иное направление, изображается как отрезок, на котором в масштабе отмечена средняя скорость для каждого направления ветра за истёкшие сутки или иной заданный период времени.

#### Задания

1. Выйти из помещения и с помощью шкалы Бофорта (Приложение 3) определить скорость ветра, записать в тетрадь по приведённой форме.

#### Пример записи результатов наблюдения за ветром

Характеристика	Скорость ветра (м/с) и направление ветра
Листья и тонкие ветви деревьев, лёгкие флаги постоянно колышутся от ветра	Ветер слабый, 3 – 4; З – СЗ

2. Построить розу ветров по данным метеостанции г. Калуги, используя для этого материалы наблюдений для зимних, весенних, летних и осенних месяцев. Форма записи приведена ниже.

**Пример записи результатов наблюдений за направлением ветра**

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Число штилей
Январь	6	4	10	15	16	23	13	10	3
Июль	11	10	10	8	3	11	16	29	2

Для построения розы ветров из одной точки по направлению основных восьми румбов откладывают отрезки, соответствующие повторяемости направлений ветра (%) данного румба в выбранном масштабе. Полученные точки соединяют прямыми линиями. В центре розы ветров показывают число штилей: число, выражающее повторяемость штилей, делится на 8, полученное значение будет радиус окружности, проведённой в центре системы координат.

**Контрольные вопросы**

1. Каковы причины возникновения ветра?
2. В чём проявляется влияние ветра на хозяйственную деятельность людей?
3. Сформулируйте определения скорости, направления и порывистости ветра.
4. Перечислите основные градации силы ветра, дайте их характеристики.
5. Что определяет суточный и годовой ход скорости ветра?
6. Как называются приборы, определяющие скорость ветра? Расскажите о принципах их действия.
7. Как называются приборы, определяющие скорость и направление ветра?
8. Назовите приборы-самописцы для определения скорости и направления ветра. Опишите принципы их действия. Приведите примеры расчёта скорости и направления ветра.
9. Что выражает роза ветров? Как графически построить розу ветров?

## ЧАСТЬ II

# АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

---

### *Глава 10*

## ОСОБЕННОСТИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Наземные агрометеорологические наблюдения и измерения (далее – наблюдения) проводятся с целью получения информации для:

- обеспечения прогностических органов Росгидромета необходимыми данными при составлении всех видов агрометеорологических прогнозов, справок о текущем состоянии сложившихся агрометеорологических условий и предупреждений в случаях их неблагоприятного развития в последующем;

- непосредственного обеспечения потребителей (различных организаций, учреждений, фермеров и заинтересованных лиц) сведениями о сложившихся агрометеорологических условиях в пункте наблюдений;

- оповещения потребителей о неблагоприятных и опасных агрометеорологических явлениях (ОАЯ);

- накопления и обобщения фактических данных об агрометеорологическом режиме и агроклиматических ресурсах конкретных территорий.

Основные задачи агрометеорологических станций и постов, в том числе и постов других ведомств, заключаются в следующем:

- проведение наблюдений в районе расположения станции (поста) в контрольные сроки;



- первичная обработка результатов наблюдений;
- составление информационных агрометеорологических донесений и передача их соответствующим организациям и учреждениям в установленные сроки.

### **10.1. Программа агрометеорологических наблюдений и измерений в тёплый и холодный периоды года**

Программы и методы агрометеорологических наблюдений регламентируются действующими Наставлениями, Руководствами и другими руководящими документами (РД) и Указаниями вышестоящих органов Росгидромета. Программы наблюдений должны соответствовать основным принципам:

- сопряжённости, т. е. параллельности агрометеорологических и метеорологических наблюдений за состоянием посевов, садов, пастбищ и сенокосов и условиями среды их произрастания;
- репрезентативности и достоверности наблюдений, выполненных одинаковыми средствами и методами измерений;
- информативности пунктов наблюдений по срокам, полноте и регулярности наблюдений.

Агрометеорологические станции и посты работают по программам наблюдений и планам-заданиям, закрепленным за ними на конкретный год вышестоящей организацией – УГМС, ГМБ или ЦГМС. Агрометеорологические станции выполняют более полные программы, включающие более широкий перечень объектов наблюдений, чем гидрометеорологические станции, привлечённые к производству агрометеорологических наблюдений. Агрометеорологические посты выполняют сокращенные программы наблюдений. Типовая программа основных видов наблюдений и работ, выполняемых на агрометеорологических станциях и гидрометеорологических станциях, привлечённых к производству агрометеорологических наблюдений, и на постах, приведена раздельно по тёплому и холодному полугодиям в табл. 10.1.

Обход наблюдательного участка производится два раза в декаду (в четвёртый день декады по 4, 14 и 24-м числам) и в последний день декады; инструментальные наблюдения за влажностью почвы проводятся в 8-й день каждой декады в тёплый период года. Результаты агрометеорологических наблюдений записываются в специальные полевые книжки сельскохозяйственные (КСХ):

*КСХ-1м* – книжка для агрометеорологических наблюдений в вегетационный период (сезонная);

*КСХ-1 П* – книжка для записи агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства (сезонная);

*КСХ-2м* – книжка для агрометеорологических наблюдений в осенне-зимне-весенний период (сезонная);

*КСХ-3* – книжка для записи наблюдений за влажностью почвы (месячная);

*КСХ-8м* – книжка для записи результатов маршрутных агрометеорологических наблюдений и обследований сельскохозяйственных угодий в сельскохозяйственном году (сезонная);

*КСХ-12* – книжка для записи агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах северного животноводства (сезонная).

После первичной обработки данных наблюдений в названных наблюдательных книжках их результаты заносятся в соответствующие таблицы сельскохозяйственной группы ТСХ; при подготовке очередных сводок и донесений результаты наблюдений кодируются действующими в Росгидромете кодами и направляются по утверждённому списку потребителям регулярной агрометеорологической информации.

Таблица 10.1

**Типовая полная программа основных агрометеорологических наблюдений для гидрометеорологических станций и постов в тёплый и холодный периоды года**

Вид агрометеорологического наблюдения	Программа		
	гидро-метеостанция	агрометеорологический пост	метеорологический пост
Тёплый период года			
Температура пахотного слоя почвы	+	+	+
Температура воды в рисовом чеке	+	–	–
Осадки на сельскохозяйственных полях	+	+	–
Влажность верхних слоёв почвы (визуально)	+	+	+
Влажность корнеобитаемого слоя почвы (инструментально)	+	+	–
Фазы развития сельскохозяйственных и плодовых культур, сеяных и диких трав, древесно-кустарниковых растений	+	+	+

Окончание табл. 10.1

Вид агрометеорологического наблюдения	Программа		
	гидро-метеостанция	агрометеорологический пост	метеорологический пост
Состояние сельскохозяйственных культур: густота стояния, высота, засорённость, повреждение и полегание растений, общая визуальная оценка состояния растений	+	+	+
Повреждение растений вредителями и болезнями	+	–	–
Элементы продуктивности, растительная масса, структура урожая сельскохозяйственных культур	+	–	–
Весеннее обследование состояния полевых культур и плодово-ягодных садов	+	+	+
Полевые работы	+	+	+
Холодный период года			
Температура почвы в зоне узла кущения озимых культур и корневой шейки многолетних трав, корневой системы плодовых культур	+	–	–
Глубина промерзания и оттаивания почвы (инструментальные наблюдения)	+	–	–
Осеннее обследование состояния зимующих полевых культур	+	+	+
Определение жизнеспособности зимующих полевых культур и плодовых деревьев	+	+	–
Снежный покров на полях с зимующими культурами и в плодовом саду	+	+	+

*Примечание.* Знак «плюс» – наблюдения проводятся, знак «минус» – не проводятся.

## 10.2. Выбор, описание и организация наблюдательных агрометеорологических участков

Наблюдательные участки выбирают на производственных полях севооборота, в садах, на пастбищах и сенокосах в зависимости от плана-задания и закрепленных за станцией (постов) объектов для производства наблюдений. Такие участки могут быть выбраны также на ближайших угодьях сельскохозяйственных учреждений, коллективного или частного пользования. Наблюдательные участки должны быть, по возможности,

репрезентативными по отношению к ближайшей метеорологической площадке, но не далее 10 – 12 км от неё. Выбранные наблюдательные участки должны быть отмечены на местности какими-либо заметными знаками – колышками, кучками дёрна, вешками, обозначающими границы участка. Каждому участку присваивается постоянный номер. На каждый такой участок составляется план и описание. На наблюдательных участках, расположенных в садах с плодовыми культурами и в виноградниках, выбирают отдельные деревья или кусты, которые отмечают бирками с постоянными номерами. Требования к выбору наблюдательных участков на различных типах сельскохозяйственных угодий подробно изложены в «Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 11.

Описание наблюдательных участков выполняется в таблице ТСХ-4 с приложением плана их расположения на местности. Площадь наблюдательного участка на производственных полях должна составлять 1 га и в зависимости от конфигурации поля может быть удлинённой или квадратной формы, поделённой на четыре части по 0,25 га (рис. 10.1).

### **10.3. Основные виды и методы агрометеорологических наблюдений на наблюдательных участках в тёплый период года<sup>1</sup>**

*Определение густоты стояния растений в посевах (густота стеблей)* на единице площади. Это важный показатель для оценки состояния возделываемой культуры и формирования её продуктивности. При загущенных посевах создаются дефициты освещенности растений (сокращение притока ФАР), почвенной влаги и питательных веществ. Густота стеблестоя зависит от нормы высева, биологических особенностей вида и сорта культуры, от складывающихся агрометеорологических условий, почвенного плодородия и применяемой агротехники. Определение густоты производят в сроки, характеризующие массовое наступление основных фаз развития. Подсчёты проводят также в четырехкратной повторности. При рядовом посеве подсчитывают число растений в рядке: на двух смежных рядках длиной по 0,5 м или 1 м каждый при узкорядном и широкорядном посевах. Среднее число растений из четырёх повторностей умножают на число рядков на 1 м и рассчитывают среднюю густоту стеблестоя на 1 м<sup>2</sup> (рис. 10.2).

<sup>1</sup> Фенологические наблюдения описаны в главе 12.

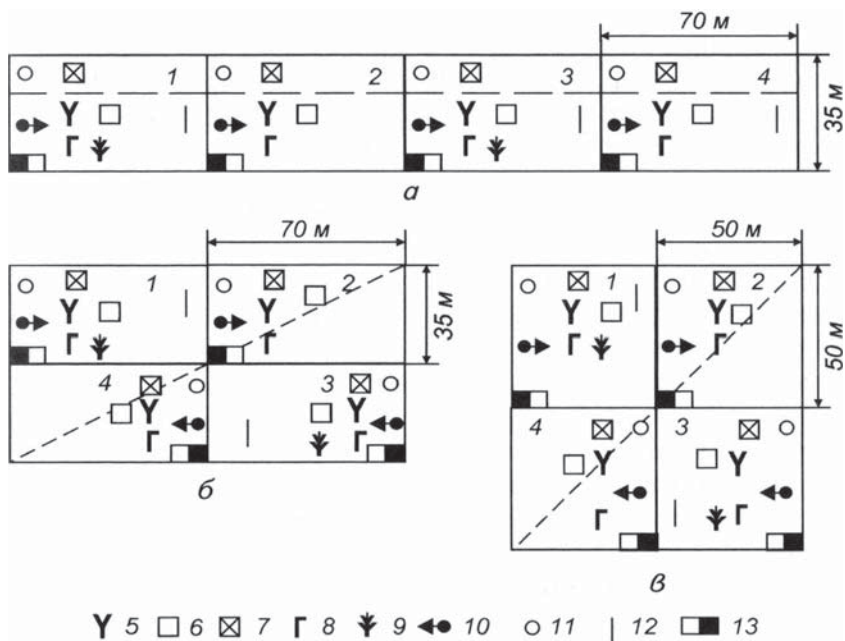


Рис. 10.1. Примерные схемы организации наблюдательных агрометеорологических участков:

а – при удлинённой форме участка, располагаемого по диагонали или вдоль поля; б и в – при прямоугольной и квадратной формах участков на малых полях, когда диагональ поля менее 380 м;

1, 2, 3, 4 – части наблюдательного участка (повторности);

----- линия маршрута при проведении снегомерной съёмки.

Места агрометеорологических наблюдений и взятия проб:

- 5 – для наблюдений за фазами развития сельскохозяйственных культур, высоты растений, элементов продуктивности зерновых, бобовых и кукурузы в период листообразования, структуры урожая кукурузы, для учёта убранных листьев табака; 6 – для определения густоты стояния растений и стеблей, а также структуры урожая зерновых колосовых и бобовых культур;
- 7 – для определения массы корнеплодов, клубней и ботвы картофеля, растительного покрова пастбищ и сенокосов; 8 – для определения элементов продуктивности хлебных зерновых культур, кроме кукурузы;
- 9 – для определения площади листьев табака и структуры урожая кукурузы в период формирования зерна; 10 – для определения влажности почвы (→ направления перемещения очередных скважин); 11 – для наблюдений за почвенными корками; 12 – для измерения температуры пахотного слоя почвы весной и на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав зимой, глубины промерзания и оттаивания почвы, высоты снежного покрова; 13 – для определения жизнеспособности озимых зерновых культур и многолетних трав.

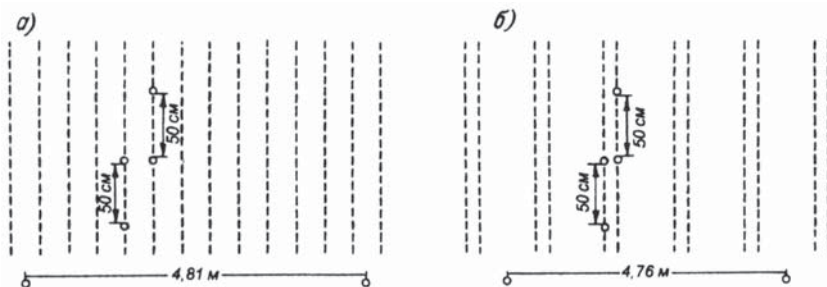


Рис. 10.2. Схема определения густоты стояния растений при рядовом (а) и ленточном (б) посевах

*Пример 1*

Определить густоту стояния проса при двухстрочном (ленточном) посеве в фазе 3-го листа, если общее количество растений на четырёхметровых отрезках составляет  $65 + 58 + 68 + 64 = 255$ , а в отрезке 5,12 м содержится 18 строчек (9 лент). Среднее количество растений в метровом отрезке равно 64 ( $255 : 4 = 64$ ). Среднее количество рядков в метровом отрезке равно 3,5 ( $18 : 5,12 = 3,5$ ), тогда густота стояния растений равна  $64 \times 3,5 = 224$  растения на  $1 \text{ м}^2$ .

*Пример 2*

Подсчёт кустов картофеля производится на площади  $100 \text{ м}^2$ . Количество рядков, каждый длиной 10 м, определяют с помощью десятиметровой мерной ленты, натянутой поперёк рядков. Подсчитывают количество кустов картофеля на четырёх 10-метровых отрезках рядков ( $49 + 44 + 41 + 52$ ):  $4 = 46$ , а в 10 м содержится 14 рядков; тогда  $46 \times 14 = 651$  куст на  $100 \text{ м}^2$ .

*Измерения высоты растений.* Информация о высоте растений необходима для оценки видов на урожай, для определения вероятности полегания зерновых культур, для корректировки технологии уборочных работ в связи со складывающимися агрометеорологическими условиями. Высота растения является сортовым признаком. Например, высота очень скороспелых сортов кукурузы составляет от 0,6 до 2,0 м, среднеспелых – 2,0–3,5 м, среднепозднеспелых и позднеспелых – более 3 м.

Начало измерений высоты у различных культур неодинаковое. Так, у озимых и яровых зерновых – в фазу 3-го листа, у кукурузы – в фазу 5-го листа, у подсолнечника – в фазу 2-й пары листьев, у картофеля – в фазу появления боковых побегов и т. п. Высоту растений измеряют переносной снегомерной рейкой длиной 180 или

130 см с точностью до одного см по 10 растений в каждом из четырёх частей наблюдательного участка; у зерновых культур – от поверхности почвы до конца листа, у группы двудольных культур (картофель, подсолнечник, гречиха, горох и др.) – от основания стебля до точки роста на верхушке стебля или до вершины соцветия. У однолетних сеяных злаковых и бобовых трав, у пропашных культур высоту растений измеряют следующим образом: у злаков – от поверхности почвы до отгиба верхнего листа, а после колошения (вымётывания) – до вершины колоса (метёлки); у остальных культур – от поверхности почвы до точки роста, а после появления соцветий – до вершины соцветия.

У корнеплодов, овощных и бахчевых культур высоту растений не измеряют.

*Определение массы клубней картофеля* проводят также в четырёх частях наблюдательного участка. Первое определение массы клубней проводят примерно через 20 суток после наступления фазы появления на растениях соцветий, а затем еженедельно до полного увядания ботвы или её гибели от заморозков. Для этого выкапывают по 6 кустов среднего развития (средней высоты и мощности) в каждой части участка. Собранные клубни массой более 60 г, очищенные от земли, взвешивают с точностью до 1 г. Пример записи приведен в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Участок №...   Сорт *Синеглазка*   Дата посадки...

**Показатели продуктивности картофеля**

Дата учёта	Количество кустов, использованных при учёте, шт.	Количество клубней под всеми кустами, шт.	Масса всех клубней, г
29.08	24	480	10 320

*Примечание.* Масса ботвы учитывается по указанию УГМС; учёт повреждённых клубней записывается отдельно.

*Пример расчёта.* Под 24 кустами картофеля было выкопано 480 клубней общей массой 10 320 г. Из них 40 достигли нормального размера (более 60 г), масса которых составила 2476 г. Из 480 клубней 50 оказались повреждёнными вредителями и фитофторой. Среднее количество клубней под кустом составило 20 шт.  $(480 : 24)$ , их масса равна  $10320 : 24 = 430$  г. На площади 100 м<sup>2</sup> при подсчёте оказалось 210 кустов, тогда на 1 га (10 000 м<sup>2</sup>) будет 21 000 кустов. Расчётную урожайность определяют по табл. 10.3.



Таблица 10.3

**Определение массы клубней картофеля**

Дата учёта	Среднее количество клубней под кустом, шт.	Средняя масса клубней под кустом, г	Расчётная урожайность клубней, т/га
29.08	20	430	9,03

*Примечание.* Расчётная урожайность приводится с точностью до 0,1 т/га; в данном примере это составит около 9,0 т/га.

*Определение массы сахарной свеклы и других корнеплодов (свёкла, брюква, турнепс и др.)* производится на 8–10-й день декады по диаметру корней на 40 растениях. Эти измерения начинают с 3-й декады июня и проводят ежедекадно на четырёх произвольно взятых растениях (в каждой из повторностей) до тех пор, пока средняя масса из 16 корней в одной из декад не достигнет 50 г. На территории южной части России это соответствует приблизительно первой – третьей декадам июля. Каждое последующее измерение проводят по 40 растениям. Последнее определение проводят за день до начала уборки.

Измерение диаметра рекомендуется проводить медицинским циркулем (рис. 10.3).

Циркуль удобен тем, что его измерительная линейка сразу показывает величину диаметра в *миллиметрах*. Для измерения корнеплод сахарной свёклы осторожно обнажают на глубину 2–3 см, не выкапывая его полностью, а затем циркулем измеряют диаметр утолщённой части корнеплода по двум взаимно-перпендикулярным



Рис. 10.3. Измерение диаметров корнеплода сахарной свёклы медицинским циркулем

направлениям (одно – вдоль ряда растений, другое – поперёк). После измерения корнеплод снова засыпают землёй. Далее рассчитывают среднее значение диаметра каждого корнеплода из двух его измерений, определяют массу корнеплода (табл. 10.4).

Таблица 10.4

**Масса корнеплода в зависимости от его среднего диаметра**

Диаметр корнеплода, мм	Масса корнеплода (г) при диаметре (мм)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	38	41	44	47	50	54	58	61	65	60
50	125	131	137	144	150	157	164	172	179	187
80	397	409	422	435	449	462	476	499	505	520
110	895	917	938	960	982	1005	1028	1051	1075	1099
140	1996	1718	1750	1783	1816	1850	1884	1919	1954	1989

*Примечание.* Настоящая таблица в качестве примера приведена в сокращении. Полная версия этой таблицы приведена в «Наставлении...», вып. 11, часть 1, книга 1, 2000 г., с. 223.

Умножая количество корней на единице площади на среднюю величину массы корнеплода, определяют урожайность этой культуры на единице площади в день обследования. Для определения массы кормовых корнеплодов необходимо определить длину окружности корнеплода, измеряемой в наиболее утолщённой его части (расположенного, как правило, ниже корневой шейки на 2–4 см) обычной сантиметровой лентой с точностью до 1 мм (рис. 10.4).

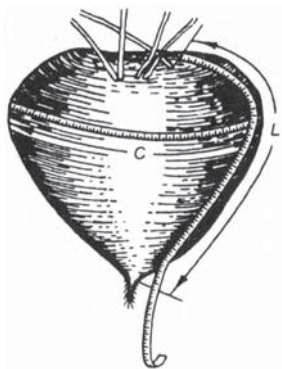


Рис. 10.4. Техника измерения корня кормовых корнеплодов

Другим необходимым параметром является измерение формы корнеплода. Это достигается с помощью эмпирического коэффициента  $K$ , рассчитываемого по средней длине окружности корнеплода  $C_{cp}$  в мм (из 40 измерений) и средней длине корня, вычисленной по 20 измерениям,  $L$  (мм)

$$K = C_{cp} / L. \quad (10.1)$$

Прямая зависимость массы корнеплода от длины его окружности приведена в сокращённом варианте в табл. 10.5.

Таблица 10.5

**Масса корнеплода в зависимости от длины его окружности,  
рассчитанная при значении  $K = 1$**

Длина окружности корнеплода, мм	Масса корнеплода (г) при длине окружности (мм)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
100	63	65	67	68	70	72	74	76	78	80
130	128	131	134	136	139	142	145	148	150	154
160	224	228	232	236	240	244	248	252	256	260
190	357	362	367	373	378	383	388	394	399	404
250	749	757	765	773	782	790	798	807	815	824
300	1225	1237	1247	1258	1270	1281	1292	1304	1316	1327
350	1858	1872	1887	1901	1915	1930	1945	1960	1974	1990
400	2665	2681	2700	2718	2737	2755	2773	2792	2811	2829
500	4867	4898	4919	4946	4972	4999	5027	5053	5081	5106

*Примечание.* Полная версия этой таблицы приведена в «Наставлении...», вып. 11, часть 1, книга 1, 2000 г., с. 231 – 232.

Для определения урожайности корнеплодов на единице площади необходимо знать не только среднюю массу корнеплода, но и количество этих растений на единице площади (обычно это кг/100 м<sup>2</sup> или т/га). Подсчёт густоты стояния этих культур производится так же, как и определение густоты стояния картофеля.

*Пример*

В день обследования средняя длина окружности корнеплода оказалась равной 119 мм, а средняя длина его корня – 114 мм. Тогда  $K = 119 : 114 = 1,04$ . По табл. 10.5 находим, что длине окружности корня соответствует масса корня, равная 101 г. Разделив это значение на 1,04, получим среднюю массу корнеплода ( $M$ ), равную 97 г. Урожайность корнеплодов (т/га) рассчитывают по формуле

$$Y = n \cdot M / 10000, \quad (10.2)$$

где  $n$  – количество растений на 100 м<sup>2</sup>.

*Определение засорённости посевов* проводят на всех наблюдательных участках, кроме участков с посевом многолетних трав и естественных кормовых угодий, древесных и кустарниковых растений. Засорённость посева определяется во все дни осмотра растений при наблюдении за фазами развития. Наблюдения проводят визуально в баллах от 0 до 4 (табл. 10.6).

Таблица 10.6

**Оценка степени (интенсивности) засорённости посевов**

Интенсивность засорённости	Визуальные признаки	Оценка в баллах
Сорняков нет		0
Очень слабая	Сорняки встречаются редко, почти незаметны среди культурных растений	1
Слабая	Сорняки заметны только вблизи, издали их не видно	2
Средняя	Сорняки встречаются часто, но не создают условий для заметного угнетения культурных растений	3
Большая	Сорняков много, заметно угнетение культурных растений	4

*Определение фитомассы (урожайности) растительного покрова природных кормовых угодий, сеяных трав и травосмесей.*

На наземной сети агрометеорологических наблюдений фитомасса природных кормовых угодий, сеяных трав (и травосмесей) определяется по сырому и сухому веществу. Определение сырой фитомассы проводится на тех полях, на которых планируется скармливание растений на сено, сенаж или силос, а также на полях с сеяными травами (культурные пастбища). На сенокосах определяется также величина сухой фитомассы.

Пробы для определения фитомассы берутся ежедекадно (в 8–9-й день декады), в период от достижения растениями высоты 10 см до массового цветения или укоса (если укос проведён до начала цветения трав). Кроме того, дополнительные пробы берутся в день наступления массового колошения (вымётывания) злаковых или начала цветения других культур (время, наиболее благоприятное для производственной уборки трав на сено) и перед укосом.

Определение фитомассы трав проводится в четырёх частях (повторностях) наблюдательного участка (рис. 10.1). Стебли срезаются на площадках размером 50 × 50 см, а на полях с сеяными травами, при широкорядном посеве – на отрезках рядков длиной 1 м. Высота среза различна: в увлажнённой зоне – от поверхности почвы на 5 см, в степной зоне – на 3 см от поверхности почвы. Растения, срезанные на каждой повторности, укладывают в полиэтиленовые пакеты с этикеткой, на которой записывают номер повторности и дату учёта. Пакеты доставляют в помещенные станции, где взвешивают все вместе или по отдельности с точностью ± 1 г.

Способ расчёта урожайности сырой фитомассы трав с  $1 \text{ м}^2$  зависит от способа взятия проб в поле. Если растения срезают на площадках размером  $50 \times 50 \text{ см}$ , то при четырёхкратной повторности урожайность трав с  $1 \text{ м}^2$  будет равна общей массе растений, срезанных с четырёх площадок. При срезании растений с рядков длиной  $1 \text{ м}$  в повторности необходимо массу пробы разделить на количество повторностей (четыре) и результат умножить на количество рядков в  $1 \text{ м}$ , рассчитанное при определении густоты стояния растений.

*Пример*

Масса сеяной суданской травы, срезанная в день учёта на четырёх отрезках рядков по  $1 \text{ м}$ , составила  $4\,680 \text{ г}$ . Среднее количество рядков в  $1 \text{ м}$  –  $2,5$ . Тогда урожайность сырой фитомассы этого растения равна  $(4680 : 4) \cdot 2,5 = 2925 \text{ г/м}^2$  или  $29,25 \text{ т/га}$ .

Влажность скошенных трав варьирует в широких пределах в зависимости от фазы скашивания, влажности почвы и воздуха и от вида скошенных растений. Для сравнения величины урожайности различных типов пастбищ и сенокосов в растениеводстве, животноводстве и пастбищеведении принято выражать урожайность сеяных и природных кормовых угодий в тоннах сухой массы на гектар ( $\text{т/га}$ ).

Расчёт урожайности сухой фитомассы ( $\text{г/м}^2$ ) на сенокосах проводится путём умножения урожайности фитомассы на *выход сухого вещества* (отношение сухой фитомассы к величине сырой фитомассе образца), являющегося безразмерной величиной.

Для определения выхода сухого вещества отбирают среднюю пробу растений (не менее  $0,5 \text{ кг}$ ) и высушивают в термостате при температуре  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  до постоянной массы. Выход сухого вещества (с точностью до третьего знака после запятой) получают, разделив значение сухой массы на значение сырой массы пробы растений («Наставление...», вып. 11, часть 1, п. 11.5, 2000 г.).

*Пример*

Масса сырой пробы (до сушки) –  $498 \text{ г}$ , масса образца после сушки –  $129 \text{ г}$ . Выход сухого вещества составил  $129 : 498 = 0,259$ . Соответственно, величина сухой массы в расчёте на  $1 \text{ га}$  ( $10\,000 \text{ м}^2$ ) составит  $2590 \text{ кг}$  или  $5,590 \text{ т/га}$ .

После первого укоса трав наблюдения за фитомассой отавы продолжают с момента образования молодых ростков длиной  $5 \text{ см}$  до прекращения линейного роста трав. В тех районах, где проводят два укоса и более, определение фитомассы проводят в течение всего периода формирования каждого из укосов.

*Оценка интенсивности полегания растений в посеве проводится по визуальным признакам, описанным в табл. 10.7.*

Таблица 10.7

Интенсивность полегания	Визуальные признаки	Оценка (баллы)
Очень сильная	Стебли практически лежат на земле. Механизованная уборка комбайном, даже при проходе в одном направлении приводит к значительным потерям урожая.	1
Сильная	Стебли сильно наклонены. Механизованная уборка возможна только против направления полегания с приспособлением для уборки полёглых хлебов. В этом случае возможны большие потери урожая.	2
Средняя	Стебли сильно наклонены. Механизованная уборка возможна при наличии специальных приспособлений для уборки полёглых хлебов, однако при этом возможны потери урожая.	3
Слабая	Стебли наклонены незначительно, как правило местами. При механической уборке затруднения невелики и потерь урожая за счёт несрезанных колосьев обычно не бывает.	4
Полегания нет	Посевы неполёглые.	5

Таким образом, разнообразие возделываемых культур, их неодинаковая зависимость от различных неблагоприятных условий погоды предполагает необходимость усвоения наблюдателем (агрономом) различных методов наблюдения и измерений для объективной оценки состояния посевов.

#### **10.4. Наблюдения и общая визуальная оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур**

*Под общей визуальной оценкой состояния посевов сельскохозяйственной культуры (далее – состояния) понимается его визуальная характеристика в данный момент времени, отражающая совместно развитие, изреженность, высоту, засорённость, повреждения и относительную продуктивность в виде условной пятибалльной шкалы. Состояние посевов оценивается в последний день декады и при массовом наступлении наблюдаемых фаз развития.*

При оценке состояния культур на наблюдательном участке учитываются мощность растений, равномерность посевов, степень повреждения метеорологическими явлениями, вредителями и болезнями,

ожидаемая продуктивность и пр. При этом в период вегетативного роста принимаются во внимание высота и густота стояния растений, кустистость, интенсивность нарастания растительной массы. С переходом к репродуктивному периоду учитываются также количество и размер продуктивных органов: у зерновых – количество колосоносных побегов, размер и озернённость колоса (метёлки, початка); у льна-долгунца и конопли – количество коробочек и семян в них; у корнеплодов – размер корней; у овощных культур – количество бутонов (соцветий), цветков, завязей и плодов и их размеры.

Состояние посевов оценивается по шкале, приведённой в табл. 10.8, с учётом совокупности признаков или какого-либо одного признака, определяющего ожидаемую продуктивность.

Таблица 10.8

**Оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур  
(баллы)**

Оценка состояния, балл	Характеристика состояния участка, роста и развития культуры, ожидаемого урожая
5 (отличное, очень хорошее)	Густота стояния растений равномерная, высота одинаковая. Растения мощные, здоровые, хорошо укоренившиеся, с хорошо развитыми многочисленными соцветиями. Злаки имеют много колосоносных стеблей; колосья (метёлки, початки) большие, озернённость колоса (метелки, початка) хорошая. У сахарной свёклы листья растут интенсивно: первый десяток листьев образуется в течение 4–5 декад после посева, второй десяток – в течение 2–3 декад после образования первого десятка. Рост и развитие растений проходят нормально. Можно ожидать урожай, близкий к максимальному урожаю для данного хозяйства.
4 (хорошее)	Густота стояния растений недостаточно равномерная, местами наблюдается небольшая изреженность; при общем хорошем состоянии растения имеют среднюю кустистость (разветвлённость), нарастание растительной массы идёт несколько замедленно, посевы заметно засорены, повреждены вредителями, болезнями и др. Ожидаемый урожай выше среднего.
3 (среднее)	Густота стояния растений не вполне равномерная. Высота и кустистость (разветвлённость) средние; соцветия (колосья, метёлки, початки) средних размеров. У сахарной свёклы период образования второго десятка листьев растянут до четырёх декад и более. Имеются повреждения растений болезнями, вредителями или неблагоприятными метеорологическими явлениями. Посевы засорены. Можно ожидать урожая, близкого к среднему многолетнему для данного хозяйства.



Окончание табл. 10.8

Оценка состояния, балл	Характеристика состояния участка, роста и развития культуры, ожидаемого урожая
2 (плохое)	Посевы изрежены, густота стояния растений неравномерная, часто встречается оголённая почва. Растения имеют угнетённый вид, небольшую высоту, слабую кустистость (разветвлённость). Соцветия (колосья, метёлки, початки) небольшие. Посевы сильно засорены, отмечается их значительное повреждение болезнями, вредителями или неблагоприятными метеорологическими явлениями (засуха, суховей, град, ливень, заморозки и др.). Урожай ожидается ниже среднего для данного хозяйства.
1 (очень плохое)	Полная или почти полная гибель растений (плодов). Посевы сильно изрежены, густота стояния растений очень неравномерная, много свободных мест (из-за отсутствия всходов или гибели растений). Растения преимущественно низкорослые, очень слабораскустившиеся (слаборазветвлённые), с мелкими соцветиями (колосьями, метёлками, початками). Имеются значительные повреждения вредителями, болезнями или неблагоприятными метеорологическими явлениями. Ожидается очень плохой урожай или его отсутствие.

Состояние плодово-ягодных культур оценивается визуально (в баллах) по двум характеристикам:

- по общему состоянию деревьев или кустов без учёта элементов плодоношения;
- по видам на урожай с учётом элементов плодоношения.

Оценка плодовых деревьев и ягодных культур по общему состоянию проводится в период от развёртывания первых листьев до листопада по шкале, приведённой в табл. 10.9.

Таблица 10.9

**Оценка состояния плодово-ягодных культур  
по их общему состоянию**

Оценка, балл	Повреждение	Состояние растений
5	Нет	Совершенно здоровые
4	Слабое	Хорошее облиствение, листья нормальные, засохших веток и побегов мало
3	Среднее	Погибло около половины плодушек и молодых побегов, наблюдается выпад полускелетных ветвей и единичных скелетных сучьев
2	Сильное	Усохла большая часть кроны, куста
1	Гибель наземной части	Растение засохло полностью

При этом учитываются интенсивность цветения, количество завязей, а также количество сформировавшихся плодов. Следует иметь в виду, что при хорошем общем состоянии растения, оцениваемом в 5 баллов, оценка состояния по видам на урожай может быть плохой (слабое цветение, необеспеченность цветков в период их цветения перекрестным опылением, опадение завязей). При отсутствии цветения в саду состояние культуры по видам на урожай оценивается в 1 балл. Если состояние растений с начала вегетации оценивается ниже хорошего или балл оценки снижается в течение вегетационного периода, то необходимо указать, по каким признакам снижена или дана недостаточно высокая оценка и предполагаемые причины снижения оценки.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные принципы организации агрометеорологических наблюдений на станциях и постах.
2. Перечислите основные задачи, выполняемые станциями и постами при проведении агрометеорологических наблюдений и измерений.
3. Как обеспечивается достоверность агрометеорологической информации станций и постов?
4. В каком документе изложен объём и перечень наблюдений для выполнения наблюдательной организацией? Какие полевые книжки используются для записи агрометеорологических наблюдений?
5. Как правильно выбрать и организовать наблюдательный участок в поле, в саду, на пастбище?
6. Расскажите о методах наблюдений за параметрами и состоянием посева (растительного покрова).
7. В какие сроки определяется густота стояния основных зерновых культур?
8. Вычислите густоту стояния проса при двухстрочном (ленточном) посеве в фазе 3-го листа, если общее количество растений в четырёх повторностях составляет соответственно 56, 60, 58 и 63. В отрезке 5 м 20 см содержится 20 строчек (10 лент).
9. Подсчитайте густоту стеблестоя пшеницы, кукурузы, картофеля, клевера. Занесите результаты подсчёта в таблицу 111 книжки КСХ М-1.
10. В какие сроки измеряется высота растений озимых и яровых зерновых культур?
11. Расскажите, как проводятся измерения высоты зерновых культур в течение вегетационного периода.
12. Как измеряется высота кукурузы?
13. Как и в какие сроки измеряется высота многолетних сеяных трав и трав на природных кормовых угодьях?
14. Как отбираются клубни нормального размера?

15. Как определить срок для начала измерения массы корнеплода на 40 растениях?

16. Расскажите о технике измерения диаметра корнеплода сахарной свёклы у растущего растения.

17. Как рассчитывают коэффициент  $K$ , необходимый для определения массы корнеплода?

18. Определите массу клубней картофеля. Запишите данные в таблицы 118 «Показатели продуктивности картофеля» книжки КСХ-1м.

19. Когда берут пробы для определения фитомассы трав?

20. Как рассчитать урожайность сырой фитомассы трав?

21. Как рассчитать урожайность сухой фитомассы?

22. Как определить выход сухого вещества?

23. Определите сырую и сухую фитомассу на природном кормовом угодье (пастбище). Результаты определения занесите в книжку КСХ-1м.

24. Как определяется засорённость посева на наблюдательном участке?

25. Расскажите о шкале визуальной оценки состояния сельскохозяйственной культуры по видам на урожай.

26. Как определяется состояние плодово-ягодных культур?

## Глава 11

# ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ФАЗАМИ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР, ВИНОГРАДА, СЕЯНЫХ ТРАВ И ПРИРОДНЫХ КОРМОВЫХ УГОДИЙ

О развитии однолетних растений от начала прорастания семян до созревания новых судят по внешним изменениям, которые происходят под влиянием складывающихся агрометеорологических условий конкретного года: всходы, образование побегов, листьев, органов цветения и плодоношения. У многолетних форм сезонное развитие растений начинается с возобновлением вегетации. Наблюдения за сезонными явлениями и процессами в жизни растений и животных<sup>1</sup> называются *фенологическими*. Они проводятся с целью оценки состояния растений: сельскохозяйственных культур в посевах, плодовых культур – в садах и виноградниках, древесно-кустарниковых форм – в парках и естественных растительных сообществах – в лесах, на лугах, в степях, пустынях и в горах.

### 11.1. Состав, сроки и правила проведения наблюдений

Объектом фенологических наблюдений являются фазы развития растений. Фазы определяются по внешним морфологическим изменениям, связанным с процессом развития и роста растений. Точность фиксирования начала и окончания фазы достигается знанием наблюдателя (агронома) особенностей фаз различных возделываемых и дикорастущих растений (родов, видов, сортов), а также регулярностью проведения самих наблюдений. Перечень

---

<sup>1</sup> Наблюдения за ростом, развитием и формированием продуктивности сельскохозяйственных животных называются зоометеорологическими; в настоящем пособии они не рассматриваются.

основных фаз развития и их морфологических признаков приводится в действующих РД – «Наставлениях» и «Методических пособиях по фенологическим наблюдениям». Основными фазами развития сельскохозяйственных культур и плодово-ягодных культур являются:

- всходы;
- появление очередных листьев;
- появление боковых побегов (кущение);
- рост стебля;
- появление бутонов и соцветий;
- цветение;
- формирование семян и плодов;
- созревание семян и плодов.

На агрометеорологических станциях и привлечённых к агрометеорологическим наблюдениям метеорологических станциях и постах осмотр состояния развития растений производится через день по чётным числам. В отдельных случаях, связанных с удалённостью наблюдательных участков, фенологические наблюдения проводятся два раза: в четвёртый и последний день декады. Чёткое соблюдение сроков обеспечивает возможность сравнения результатов фенологических наблюдений со средними многолетними сроками и с данными соседних станций и постов.

Все растения как объекты типовых фенологических наблюдений принято подразделять на три основные группы.

1. Непостоянные объекты наблюдений – растения некропашных зерновых культур, сеяных трав, растения природных кормовых угодий. Выбор этих растительных объектов проводится при каждом (очередном) наблюдении.

2. Многолетние постоянные объекты наблюдений – плодово-ягодные, субтропические культуры, дикорастущие деревья и кустарники. Эти растения выбираются один раз на много лет наблюдений вперёд.

3. Однолетние постоянные объекты наблюдений – растения пропашных, огородных, бахчевых и некоторых зернобобовых культур (бобы конские, горох, соя, люпин, табак и др.). Они выбираются только на каждый конкретный год.

В связи с неравномерным наступлением фаз развития всех растений в посевах наблюдатель определяет их состояния путём осмотра 40 растений каждой возделываемой культуры: по 10 растений типичных по своему состоянию в четырёх частях (повторно-стях) наблюдательного участка. Количество растений, вступивших

в фазу, определяется визуально в процентах. Началом фазы («а») считается день её наступления не менее чем у 10 % растений, за массовое наступление фазы («б») – не менее чем у 50 % осматриваемых растений. После регистрации фазы у  $\geq 75$  % растений наблюдения за ней прекращают и в следующий день осмотра записывают: «новой фазы нет». Подсчёты растений возобновляют с наступлением очередной фазы.

На участках, занятых плодово-ягодными культурами, заранее выбирают 20 постоянных экземпляров деревьев (кустов), типичных по своему состоянию и отмечают их этикетками для длительного наблюдения, по 5 – в четырёх частях участка. Дерево или куст считают вступившим в фазу, если признаки фазы имеются хотя бы на отдельных ветках наблюдаемого экземпляра. Результаты наблюдений записывают в специальную книжку – КСХ–1м, в которой отмечают дату осмотра участка, культуру и фазу её развития, количество растений, вступивших в фазу в каждой из четырёх повторностей участка, и охват растений, вступивших в фазу (%).

## **11.2. Основные фазы развития сельскохозяйственных культур**

В Приложениях 5 и 6 представлены рисунки фаз развития основных сеяных трав и дикорастущих древесно-кустарниковых растений. Рассмотрение основных фаз развития представлено по группам растений.

### ***Наблюдения за фазами развития однолетних и двулетних (озимых) злаковых культур.***

*Прорастание семян и всходы.* Обнаружение первых корешков у 5 семян из 20 выкопанных является признаком этой фазы.

*3-й лист.* Признаком фазы является развёртывание 3-го листа.

*Кущение.* Эту фазу отмечают при появлении кончиков первых листьев боковых побегов из влагалищ листьев главного побега. Боковые побеги обычно закладываются в пазухах листьев на подземных стеблевых узлах. Кущение происходит только при наличии доступной растениям влаги на глубине залегания узла кущения (в среднем 3 см). В засушливые годы эта фаза может не сформироваться. У озимых культур эта фаза наблюдается осенью. При благоприятных условиях температуры и влажности верхних горизонтов почвы к началу зимы такие растения успевают сформировать несколько побегов, образующих куст. После массового наступления этой фазы у озимых культур наблюдения проводят два раза в

декаду (4, 10, 14, 20, 24 и 30 или 31 числа). У озимых культур *прекращение вегетации* отмечают при устойчивом снижении средних суточных температур воздуха (в течение 5 суток подряд) через 5 °С. Признаком *возобновления вегетации* озимых культур весной является появление свежей зелени на перезимовавших растениях.

*Выход в трубку (стеблевание)* отмечается при начале роста стебля, заключающегося в удлинении нижнего междоузлия соломины на 3 – 5 мм, расположенной над узлом кущения. К этому времени происходит формирование зачаточного колоса с заложением на нём зачатков колосков. Это обнаруживается при элементарном препарировании главного стебля с помощью лупы с 10-кратным увеличением (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Выход в трубку озимой пшеницы:

Слева – общий вид растения после перезимовки;  
а – начало удлинения нижнего междоузлия соломины  
и начало заложения колосковых бугорков на зачаточном колосе;  
увеличено в 17 раз (рис. А.А. Шиголева)

У яровых хлебов фаза стеблевания обнаруживается после фазы 3-го листа. Для этого выкапывают по 10 типичных растений в 4 частях наблюдательного участка и, осторожно освободив стебель от листьев, обнаруживают признаки фазы выхода в трубку.

*Колошение (вымётывание)* отмечают по появлению колоса (до половины) или верхней части метелки из влагалища верхнего листа.

*Цветение* у злаковых культур определяют по раскрытию цветочных чешуй и появлению снаружи их пыльников, которые лопаются при сухой погоде, выбрасывая пыльцу.

В условиях прохладной, пасмурной и влажной погоды цветочные чешуи не раскрываются. В таких случаях необходимо отделить колосок из средней части колоса главного стебля и раздвинуть цветочные чешуи с помощью иглы или булавки: лопнувшие внутри пыльники явятся признаком наступившего цветения.

*Молочная спелость.* Признаками этой фазы является: зелёное зерно по размеру соответствует спелому зерну; при сжатии в руке зелёного зерна его оболочка лопается и содержимое выдавливается наружу. К началу этой фазы у зелёного растения нижние стеблевые листья желтеют.

*Восковая спелость* определяется у большинства злаковых культур по пожелтению (побурению) колоса и засыханию листьев. Зерно теряет упругость и с трудом выдавливается на ладонь. При скашивании хлебов в восковой спелости применяется раздельная уборка, тогда полная спелость отмечается в валках.

*Полная спелость.* Зерно становится твёрдым и не раскалывается. В условиях длительной ненастной погоды массовая фаза может не наступить. Ниже приведены рисунки фаз развития на примере яровой пшеницы и овса, характеризующих эту группы однолетних зерновых культур (рис 11.2 и 11.3).

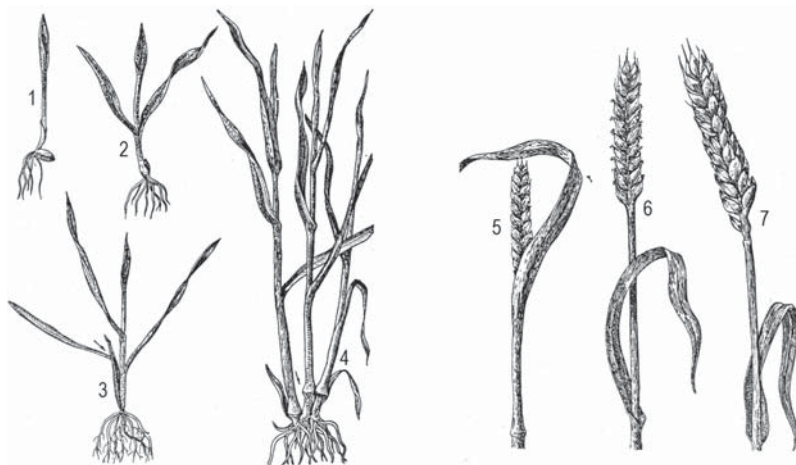


Рис. 11.2. Фазы развития яровой пшеницы:

1 – всходы; 2 – 3-й лист; 3 – кущение; 4 – выход в трубку;  
5 – колошение; 6 – цветение; 7 – полная спелость (созревание)





Рис. 11.3. Фазы развития овса:

1 – всходы; 2 – 3-й лист; 3 – кущение; 4 – выход в трубку; 5 – колосшение; 6 – цветение; 7 – полная зрелость (созревание)

У озимых культур весной отмечается фаза возобновления вегетации, проявляющаяся в появлении новых листочков (свежей зелени) на перезимовавших растениях.

**Наблюдения за фазами развития кукурузы.** Кукуруза, выращиваемая на зерно, относится к пропашным культурам. Наблюдения на посевах этой культуры проводят за следующими фазами её развития (рис. 11.4).



Рис. 11.4. Фазы развития кукурузы:

1 – всходы; 2 – 3-й лист; 3 и 4 – появление очередных листьев (листообразование); 5 – выметывание метёлки; 6 – цветение початка; 7 – молочная зрелость; 8 – восковая зрелость; 9 – полная зрелость

*Прорастание семян.* На третий день после посева раскапывают верхний слой почвы в разных строчках посева по пять гнёзд в четырех участках. На разбухших от влаги зерновках отмечают появление зародышевого корешка. При регистрации проростков в 5 гнёздах из 20 просмотренных отмечают эту фазу.

*Всходы.* Начало наступления фазы «а» отмечают при развёртывании первых листочков у единичных растений в гнёздах посева в разных частях участка. Массовое наступление фазы «б» отмечают при появлении всходов в большинстве гнёзд.

*Появление очередных листьев.* Количество листьев, образующихся у этой культуры, является показателем скороспелости сорта. Наиболее раннеспелые сорта и гибриды образуют 10–11 листьев, позднеспелые – до 20 и более. Начиная с 3-го листа отмечают появление каждого следующего нечётного листа. Наблюдения за этой фазой продолжают до вымётывания метёлки.

*Вымётывание метёлки* завершает период листообразования кукурузы, фазу отмечают при появлении в верхней части метёлки из влагалища последнего верхнего листа (рис. 11.5).



Рис. 11.5. Фаза вымётывания метёлки (или появление султана) у кукурузы (рис. А.А. Шиголева)

*Цветение початка (появление нитевидных столбиков)* отмечают при появлении из обёртки початка нитевидных столбиков, несущих рыльце. Цветение метёлки отмечают при появлении пыльников на главной оси метёлки (рис. 11.6).



Рис. 11.6. Цветение початка кукурузы:

1 – появление нитевидных столбиков на початке; 2 – часть главной ветви султана метёлки, появление пыльников (рис. А.А. Шиголева)

*Молочная спелость* характеризуется побурением и началом засыхания нитевидных столбиков, при этом обёртки початка сохраняют зелёную окраску. При раздавливании зерна выделяется беловатая жидкость, напоминающая молоко (рис. 11.7).

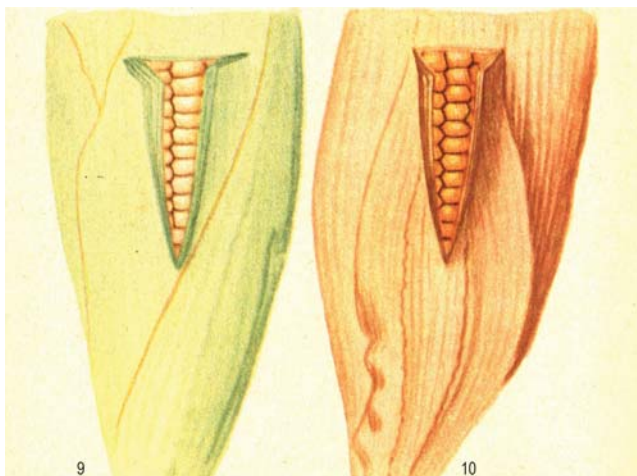


Рис. 11.7. Фазы молочной (9) и восковой (10) спелости зерна кукурузы (рис. А.А. Шиголева)

Для определения этих фаз развития на выбранном початке в средней части надрезают обёртку с его северной стороны, как это показано на рисунке (длина продольного надреза 5–7 см, поперечного – 3–4 см); затем обёртку слегка приоткрывают и определяют состояние зерен. Початки выбирают на растениях в различных частях наблюдательного участка.

*Восковая спелость* характеризуется более плотной, восковой консистенцией зерна и приобретением цвета, свойственного данному сорту; обёртка початка теряет зелёную окраску и подсыхает.

*Полная спелость* определяется по затвердению зёрен в средней части початка.

**Наблюдения за фазами развития гречихи.** Наблюдаемые фазы развития:

- всходы;
- появление соцветий;
- цветение;
- созревание.

Начало *всходов «а»* отмечают визуально (без подсчёта их количества) при появлении семядольных листьев на отдельных участках поля. Массовое наступление фазы «б» отмечают, когда на поле чётко просматриваются рядки посева (с первой парой листьев) этой культуры.

*Появление соцветий* у гречихи начинается относительно рано, нередко после развёртывания второй пары настоящего листа. Признаком фазы является появление на конце стебля зачатков первых бутонов. Фазу *цветения* отмечают с появлением первых раскрывшихся цветков. Эта фаза очень растянута по времени: даже при начале созревания коробочек цветение гречихи ещё продолжается. Поэтому наблюдения проводят два раза в декаду (рис. 11.8 и 11.9).

**Наблюдения за фазами развития зерновых бобовых культур (горох, фасоль, соя, бобы конские и др.).** Наблюдаемые фазы этих культур:

- прорастание семян (только у гороха);
- всходы;
- 3-й настоящий лист;
- 5-й настоящий лист (только у сои);
- появление боковых побегов (только у сои);
- появление соцветий (у всех культур, кроме сои);
- начало цветения (у всех культур);
- появление бобов (у сои);



Рис. 11.8. Фазы развития гречихи (схема):

1 – цветущая ветвь; 2 – цветок с коротким пестиком и длинными тычинками; 3 – цветок с длинным пестиком и короткими тычинками; 4 – плод



Рис. 11.9. Цветное изображение фаз развития гречихи

Слева: всходы (первая пара листьев); справа – появление соцветий (зачаток соцветия) (рис. А.А. Шиголева)

- конец цветения (у гороха и сои);
- созревание.

Наблюдения за прорастанием семян гороха проводятся так же, как и за зерновыми культурами. *Всходы* у фасоли и сои отмечают при появлении разъединившихся семядолей над поверхностью почвы; у гороха, конских бобов, нута и чечевицы – при появлении ростков. При фиксировании начала всходов «а» рядки посева ещё не обозначены; при массовых всходах «б» рядки посева просматриваются чётко.

*3-й настоящий лист* – у фасоли появляются сразу два настоящих листа после развёртывания семядолей; у гороха и конских бобов за эту фазу принимается первый лист с развёрнутой пластинкой. При фиксировании начала всходов «а» рядки посева ещё не обозначены; при массовых всходах «б» рядки посева просматриваются чётко (рис. 11.10).

Фазы развития фасоли представлены на рис. 11.11.

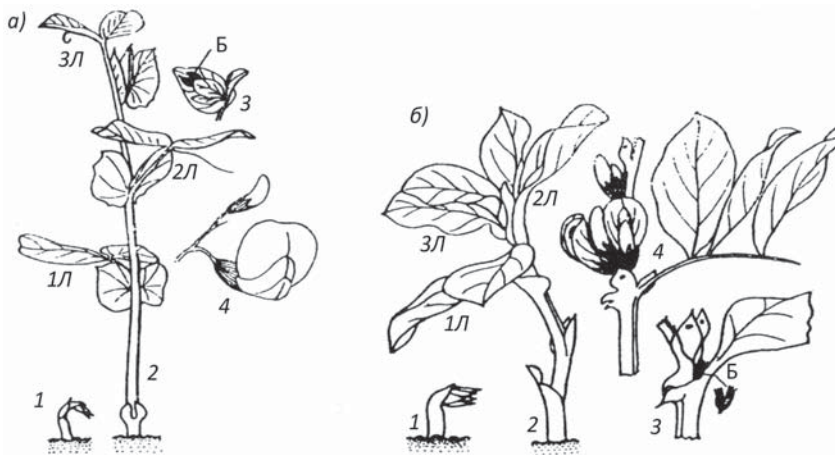


Рис. 11.10. Фазы развития гороха (а) и конских бобов (б):

- 1 – всходы (росток); 2 – развёртывание 3-го настоящего листа (ЗЛ);
- 3 – появление соцветий (зачатков первых бутонов Б);
- 4 – начало цветения (раскрытие первого цветка);
- 1Л, 2Л, 3Л – 1, 2, 3-й настоящие листья



Рис. 11.11. Фасоль:

- 1 – всходы; 2 – 3-й настоящий лист; 3 – появление соцветий (бутонизация);
- 4 – начало цветения (окраска цветков различна в зависимости от сорта);
- 5 – созревание



*Созревание* отмечают, когда большая часть стручков приобретает буровато-зелёные оттенки, иногда пятнистые, коричневые, оранжевые, светло-соломенные и т. п., свойственные посеянному сорту, а ядра плода оказываются затвердевшими.

В отличие от других бобовых культур у сои отмечают *5-й лист и появление боковых побегов*. Эта фаза отмечается при появлении зачатков первых боковых побегов, но на рис. 11.12 она не отмечена.

*Появление соцветий* – появление в пазухах листьев зачатков первых соцветий.

*Начало цветения* отмечают, когда раскрываются лепестки первых цветков. После массового зацветания и до созревания первых бобов наблюдения на участке проводят два раза в декаду.

*Появление бобов у сои* отмечают, когда первые бобы достигают длины 1 см (рис. 11.12).



Рис. 11.12. Фазы развития сои:

- 1 – всходы; 2 – 3-й парный настоящий лист; 3 – появление соцветий;  
4 – начало цветения; 5 – появление бобов; 6 – конец цветения  
и созревание бобов

*Конец цветения* заметен по засыхающим зачаткам соцветий в пазухах верхних листьев. Отмечают только дату наступления фазы без подсчёта количества растений и доли (%) отцветших растений.

*Созревание* отмечают при массовом побурении (или пожелтении) бобов; семена в них приобретают окраску, свойственную высейному сорту.

**Наблюдения за фазами развития подсолнечника.** Наблюдаемые фазы:

- всходы;
- вторая пара листьев;
- появление соцветий;
- цветение;
- созревание;
- уборочная спелость.

Все фазы развития этой культуры представлены на рис. 11.13.

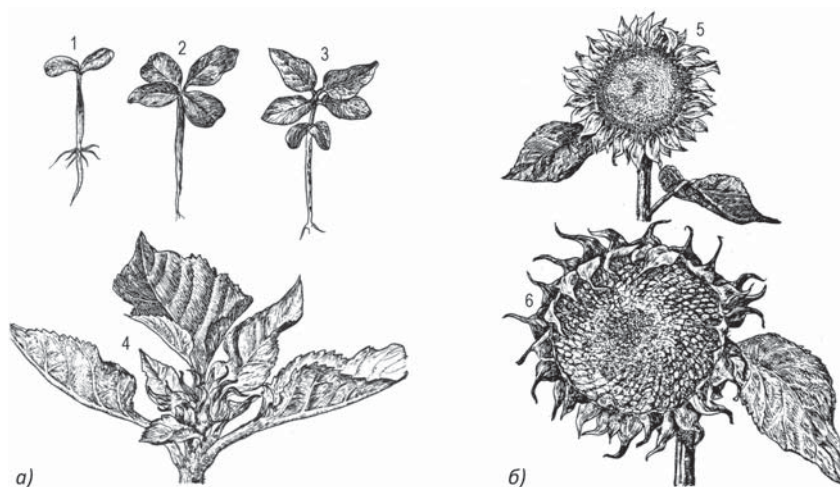


Рис. 11.13. Фазы развития подсолнечника:

- а) 1 – всходы; 2 – первая пара настоящих листьев<sup>1</sup>; 3 – вторая пара настоящих листьев; 4 – появление соцветий;  
б) 5 – цветение; 6 – созревание и уборочная спелость

*Появление соцветий* – это, по существу, начало образования «корзинки», наружные листочки которой на концах вытянуты и заострены, образуя многолучевую листовую звёздочку среди верхних листьев (рис. 11.14).

*Цветение* подсолнечника отмечается при раскрытии первых трубчатых цветков, расположенных по краям корзинки и выделяющих обильную жёлтую пыльцу (рис. 11.15). После массового наступления этой фазы и до появления первых признаков изменения

<sup>1</sup> Согласно действующему Наставлению на станциях и постах эта фаза не отмечается.



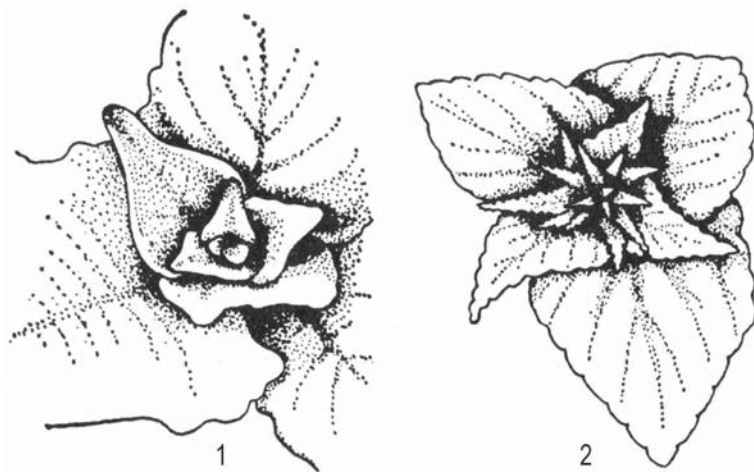


Рис. 11.14. Появление соцветия (корзинки) у подсолнечника:  
1 – вид сверху до появления корзинки на верхушке главного стебля;  
2 – вид сверху в начале образования корзинки, отмечаемый,  
как наступление фазы появления соцветий



Рис. 11.15. Фаза цветения у подсолнечника

окраски крайних семян фенологические наблюдения проводят два раза в декаду; после появления этих признаков – через день. В разрезе полностью сформировавшаяся корзинка подсолнуха позволяет различить трубчатые цветки (опыляемые) и язычковые, ярко окрашенные, не опыляемые (рис. 11.16).

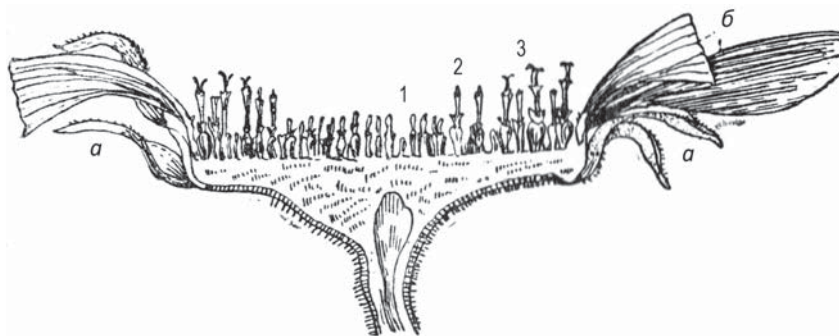


Рис. 11.16. Корзинка подсолнечника в разрезе (а – листочки обёртки; б – язычковые цветки):

1 – нераспустившиеся трубчатые цветки;  
2 и 3 – распустившиеся трубчатые цветки (цветение)

**Созревание.** Эта фаза отмечается, когда в средней части корзинки кожура семян приобретает иную окраску, свойственную возделываемому сорту (серую или тёмно-серую с полосами, чёрно-фиолетовую или иную). При этом зерно в семянке сформировалось и стало плотным. Большая часть листьев и язычковые цветки (краевые) засохли, а тыльная часть корзинки пожелтела.

**Уборочная спелость** подсолнечника определяют при побурении и подсыхании корзинок не менее чем у 85 % растений.

**Наблюдения за фазами развития льна-долгунца.** Наблюдают следующие фазы:

- всходы;
- начало роста стебля («ёлочка»);
- появление соцветий;
- цветение;
- зелёная спелость семян;
- ранняя жёлтая спелость семян;
- полная жёлтая спелость семян.

Основные фазы развития этой прядильной и масличной культуры представлены на рис 11.17.

**Начало роста стебля** происходит, когда междоузлие между первой парой листьев и третьим листом начинает удлиняться, что отмечается как фаза.

**Появление соцветий.** Это характерный, хорошо заметный морфологический признак появления зачатков соцветий – плотно



Рис. 11.17. Фазы развития льна:

- 1 – всходы; 2 – начало роста стебля («ёлочка»);  
3 – появление соцветий; 4 – цветение; 5 – зелёная спелость семян;  
6 – ранняя жёлтая спелость; 7 – полная жёлтая спелость семян

расположенных друг к другу листьев, верхние из которых прикрывают первые зачатки бутонов.

**Цветение.** Фаза определяется при раскрытии первых цветков в соцветиях. Следует помнить, что цветки находятся в раскрытом состоянии только в утренние часы.

**Зелёная спелость семян.** Фаза отмечается, когда формирование коробочек уже закончилось, они остаются мягкими, бледно-зелёного цвета; нижние листья растения начинают желтеть.

**Ранняя жёлтая спелость.** Семена у большинства коробочек приобретают светло-жёлтый цвет; однако часть коробочек изменяет окраску до бурых и оливковых тонов (в зависимости от сорта).

**Полная жёлтая спелость семян.** Листья увяли до верхушки растения и опали на нижней половине стебля. Уборка льна на волокно производится в фазе ранней жёлтой спелости.

**Наблюдения за фазами развития картофеля** проводят за следующими фазами:

- всходы;
- появление боковых побегов;
- появление соцветий;
- цветение;
- конец цветения;
- увядание ботвы.

Перед посадкой картофеля в грунт его клубни обычно подвергают яровизации в условиях неполного освещения и положительной невысокой температуры (рис. 11.18).



Рис. 11.18. Яровизированные клубни картофеля (рис. А.А. Шиголева)

Всходы картофеля отмечают при появлении первых ростков в отдельных участках поля «а», когда на поле четко просматриваются зелёные строчки всходов, отмечают фазу «б».

Появление боковых побегов отмечают при появлении зачатков боковых удлинённых побегов в пазухах листьев. Появление соцветий отмечают при появлении зачатков соцветий на верхушках молодых стеблей (рис. 11.19).

Цветение отмечают при раскрытии первых цветков различной окраски (белые, сиреневые, розоватые) в зависимости от сорта этой культуры (рис 11.20).

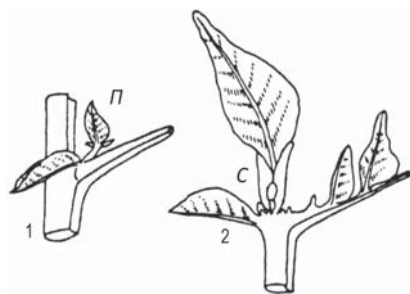


Рис. 11.19. Картофель:  
1 – появление бокового побега (П);  
2 – появление соцветия (С)



Рис. 11.20. Соцветие картофеля сорта Синеглазка

После наступления массовой фазы цветения наблюдения проводят два раза в декаду.

*Конец цветения* отмечается при увядании лепестков у большинства растений. *Увядание ботвы* выражается в пожелтении, побурении большей части листьев у большинства растений. Это признак постепенного прекращения вегетации растений.

**Наблюдения за фазами развития сахарной, кормовой и столовой свёклы в первый год вегетации.** Наблюдаемые фазы развития:

- всходы;
- первая пара настоящих листьев (1-й настоящий лист);
- вторая пара настоящих листьев (2-й настоящий лист);
- третья пара настоящих листьев (3-й настоящий лист);
- начало утолщения корнеплода.

Морфологические признаки этих фаз представлены на рис. 11.21.

*Начало утолщения корнеплода.* Признаком наступления этой фазы считают увеличение диаметра корнеплода в наиболее утолщённой части до 3–5 мм и появление продольных трещин на

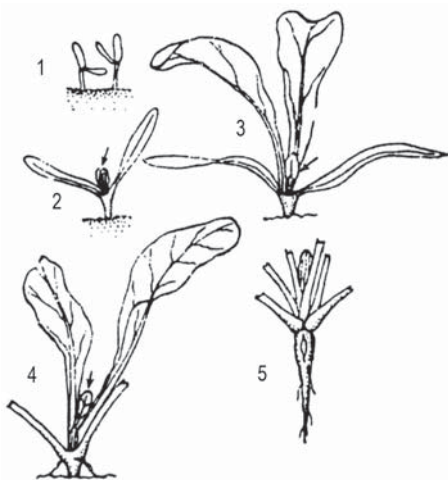


Рис. 11.21. Фазы развития свёклы в первый год вегетации:

- 1 – всходы; 2 – первая пара настоящих листьев (1-й настоящий лист);
- 3 – 3-й настоящий лист;
- 4 – 5-й настоящий лист; 5 – начало утолщения корнеплода (видна трещина на коже корнеплода)

кожице корнеплода вследствие увеличения его толщины. Для определения этой фазы просматривают по 5 растений в четырёх местах наблюдательного участка. После массового начала утолщения корнеплода осмотр наблюдательных участков проводят два раза в декаду. При дальнейшем росте и развитии посева свёклы происходят смыкание растений в рядах, закрытие междурядий и пожелтение наружных листьев. Эти изменения в состоянии растений не фиксируются как фазы, но они подтверждают, что в этот период происходит дальнейшее формирование корнеплода.

Во второй год вегетации после посадки в грунт корнеплодов свёклы, моркови, брюквы и турнепса на семена отмечают следующие фазы:

– *появление розетки (отрастание)* – появление листочков на большинстве растений;

– *начало роста стебля* – из репродуктивной почки появляется цветоносный побег длиной 10 мм;

– *появление боковых побегов* – в пазухах листьев начинается удлинение боковых побегов;

– *цветение* – на цветоносе раскрылись первые цветки; после массового зацветания наблюдения проводят два раза в декаду;

– *начало созревания* – появляются первые побуревшие клубочки;

– *уборочная спелость* – у свёклы 25 – 30 % клубочков побурели (по визуальной оценке); у брюквы, турнепса 40 – 50 % стручков приобрели светло-жёлтую или бурую окраску; уборочную спелость отмечают одной датой.

**Наблюдения за фазами развития овощных и бахчевых культур (огурец, кабачок, помидор (томат), перец, баклажан).**

Наблюдаемые фазы развития:

– всходы;

– 1-й настоящий лист;

– 3-й настоящий лист;

– появление боковых побегов (у помидора, баклажана, перца);

– появление бутонов (у помидора – соцветий);

– цветение;

– созревание.

*Всходы* – появление разъединившихся семядолей над поверхностью почвы в отдельных местах участка (фаза «а»); массовые всходы (фаза «б») в большей части участка.

*Появление боковых побегов* отмечается при их появлении в пазухах листьев.

*Появление бутонов (соцветий)* в пазухах листьев в виде зачатков; у огурцов иногда бутоны закладываются вскоре после появления 1-го листа.

*Цветение* отмечают при появлении 1-го раскрывшегося цветка. При наступлении массового цветения наблюдения проводят два раза в неделю.

*Созревание.* Обычно под этой фазой подразумевают наступление съёмной спелости плода. Если плоды собирают до их созревания (огурцов, кабачков, патиссонов и др.), то в этих случаях



отмечают только дату первого сбора плодов, а дату созревания плодов не отмечают.

У помидоров отмечают три вида их состояния (спелости): зелёную, бланжевую, полную. *Зелёная* спелость отмечается, когда плоды достигают нормального, свойственного данному сорту размера; цвет плодов зеленовато-белый, семенные камеры заполнены жидкостью (плацентой), что определяют при разрезании плода (находящегося не на растении, отмеченного для постоянного наблюдения). *Бланжевая* спелость отмечается, когда первые плоды приобретают желтовато-бурю окраску. Собранные в этом состоянии плоды при дозревании не теряют своих вкусовых качеств, поэтому они наиболее пригодны для транспортировки. *Полная* (биологическая) спелость отмечается, когда плоды приобретают окраску, свойственную посеянному сорту; в таком состоянии плоды пригодны непосредственному употреблению в пищу. После первого сбора плодов любого вида спелости наблюдения за созреванием прекращаются.

### **11.3. Основные фазы развития плодово-ягодных культур и винограда**

Плодовые культуры подразделяют на: *семечковые* (яблоня, груша, айва и др.); *косточковые* (слива, вишня, черешня, алыча, абрикос, персик, облепиха и др.); *ягодные* (смородина, крыжовник, малина, рябина черноплодная, земляника, виноград и др.); *орехоплодные* (грецкий орех, фундук, фисташка, миндаль и др.); *цитрусовые* (лимон, мандарин, апельсин); *субтропические* (гранат, инжир, фейхоа, хурма и др.).

Фенологические наблюдения за фазами развития этой группы возделываемых культур производится путем осмотра 20 постоянных выбранных для наблюдения экземпляров и подсчета количества деревьев (кустов) с признаками наступившей фазы. Дерево или куст считается вступившим в фазу, если признаки фазы обнаружены хотя бы на отдельных ветвях этого экземпляра.

**Наблюдения за фазами развития группы семечковых, косточковых и ягодных культур.** Наблюдаемые фазы развития:

- набухание почек;
- распускание почек;
- развёртывание первых листьев из ростовых почек;
- появление соцветий (малина);
- обособление бутонов (бутонизация у яблони, груши);
- цветение;



- конец цветения;
- формирование (рост) плодов (яблоня, груша, слива, абрикос, персик, айва);
- созревание плодов;
- осеннее расцвечивание листьев;
- листопад.

*Набухание почек.* У косточковых и семечковых плодовых деревьев плодовые почки крупнее ростовых, поэтому набухание почек легче всего определяется на плодовых почках. У ягодных культур различия между этими видами почек менее заметны. Поэтому фаза набухания почек у ягодных культур отмечается без разделения на плодовые и ростовые почки. У вишни и черешни эту фазу отмечают при появлении зелёных частичек будущих листочков на концах почек. Начало набухания почек у плодово-ягодных культур и дикорастущих древесно-кустарниковых пород происходит при дневной температуре воздуха  $\geq 5$  °C (рис. 11.22).



Рис. 11.22. Начало набухания почек у плодовых и древесно-кустарниковых культур:

- 1 и 2 – яблоня (листовая и плодовая почки); 3 – шелковица;
  - 4 – груша; 5 – клён остролиственный; 6 – вяз обыкновенный;
  - 7 – виноград; 8 – лиственница; 9 – сирень; 10 – черёмуха; 11 – липа;
  - 12 – лещина (орешник); 13 – вишня; 14 – смородина чёрная;
  - 15 – смородина красная; 16 – актинидия; 17 – берёза; 18 – крыжовник.
- Фрагменты 3 и 7 – в натуральную величину; остальные увеличены (рис. А.А. Шиголева)

При неблагоприятных условиях перезимовки плодовые почки повреждаются низкими температурами. Весной признаков их распускания не обнаруживается.

*Распускание почек или развёртывание первых листьев* отмечается при раздвигании внутренних чешуек на концах плодовых почек и развёртывании первых листочков, свёрнутых до наступления фазы в трубочку или находящихся в почке. У каждой плодовой культуры и древесно-кустарниковой породы формы листовых почек и молодых листочков различны (рис. 11.23.).



Рис. 11.23. Развертывание первых листьев у плодовых и древесно-кустарниковых культур:

- 1 – вишня; 2 – осина; 3 – жимолость лесная; 4 – лещина (орешник);
- 5 – яблоня; 6 – берёза; 7 – лиственница; 8 – груша; 9 – липа;
- 10 – акация белая; 11 – ольха серая; 12 – ясень; 13 – вяз обыкновенный;
- 14 – ива ломкая; 15 – виноград; 16 – дуб; 17 – смородина чёрная;
- 18 – слива; 19 – лимон (рис. А.А. Шиголева)

*Появление соцветий.* Признаком начала фазы служит появление зачатков бутонов в пазухах листьев. Эта фаза отмечается только у малины, соцветия которой закладываются на перезимовавших побегах, то есть второго года развития. Фаза наступает значительно позже – после завершения облиствения перезимовавших побегов.

*Обособление бутонов (бутонизация)* отмечается у яблони и груши. Вначале из розетки группы бутонов выдвигается соцветие,

состоящее из нескольких плотно сидящих бутонов. Признаком наступления этой фазы является обособление бутонов друг от друга на удлинённых черешках и появление отдельных лепестков из-под чашелистиков.

*Цветение.* Признаком цветения служит раскрытие первых цветков. В фазу цветения – от раскрытия первых цветков до отцветания последних – растения переходят от вегетативного роста к генеративному развитию. Процессу цветения предшествует этап закладки репродуктивных органов. Например, у яблони закладка цветочных почек начинается ещё в середине лета предшествующего цветению года. Количество цветков у плодовых растений различно в разные годы, что связано с годовой периодичностью цветения: годы с обильным цветением (плодоношением) обычно чередуются со слабым цветением (плодоношением). Цветки разных плодовых культур различаются формой и окраской лепестков, связанных в определённой степени с видовыми и сортовыми особенностями растений (рис. 11.24 и 11.25).

*Конец цветения.* Эта фаза отмечается, когда у большинства цветков лепестки осыпаются или засыхают.

*Формирование (рост) плодов.* Признаком для определения фазы у семечковых культур (яблоня, груша) является достижение завязью плода среднего диаметра примерно 1,5 см; у косточковых культур (абрикос, вишня, персик, слива и др.) – разрыв околоплодника растущей завязью.

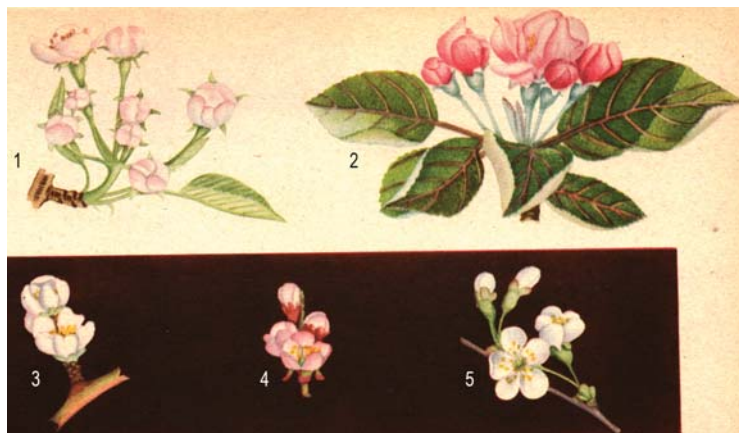


Рис. 11.24. Фаза цветения плодовых культур: груши, яблони, миндаля, абрикоса и вишни (рис. А.А. Шиголева)



Рис. 11.25. Яблоня. Фаза цветения

### *Созревание плодов.*

Признаки созревания семечковых культур: плоды приобретают свойственную сортовым особенностям зрелых плодов плотность, окраску и аромат, легко отделяются от плодушек. У косточковых культур плоды становятся мягкими и приобретают свойственную данному виду окраску, а некоторые куль-

туры – и аромат (абрикос, персик и др.). Такими же признаками характеризуется фаза созревания плодов у ягодных культур – малины, крыжовника, смородины, облепихи, черноплодной рябины и др. После массового созревания плодов осмотр растений производят два раза в декаду.

*Осеннее расцветивание листьев.* Для определения этой фазы осмотр наблюдаемых экземпляров древесно-кустарниковых культур и пород производят два раза в декаду. Осеннее изменение окраски листьев от жёлтых до оранжевых и бордово-красных тонов связано с распадом хлорофилла в листьях и образованием в них яркоокрашенного вещества – антоциана. Эту фазу отмечают в день, когда изменение окраски листьев обнаружено не менее чем у 50 % наблюдаемых растений.

*Листопад.* Эта фаза наступает, как результат нормального физиологического процесса старения листьев у листопадных форм в период подготовки растений к зимним условиям. Фазу отмечают в день, когда не менее 50 % наблюдаемых растений сбросили почти все листья.

**Наблюдения за фазами развития винограда.** Наблюдаемые фазы развития:

- сокодвижение (плач);
- набухание глазков (почек);
- распускание глазков;
- развёртывание 1-го листа;
- развёртывание 3-го листа;
- появление первого соцветия;
- цветение;
- созревание (начало, зрелость, промышленная зрелость);
- листопад.

Основные фазы развития этой культуры показаны на рисунках 11.22 (см. 7), 11.23 (см. 15) и 11.26.

*Сокодвижение (плач).*

В условиях открытой (не укрываемой на зиму) культуры винограда весной при переходе средней суточной температуры через 5 °С проводят тонкий срез лозы у 4–6 кустов каждого наблюдаемого сорта этой культуры. День появления на срезе пасоки (сока) регистрируют как «плач» у данного сорта.

*Цветение.* Признаком наступления фазы является опадение венчиков (колпачков) на нижних кистях под напором выросших тычинок (рис. 11.27.).

После окончания цветения до появления созревания единичных ягод наблюдения проводят два раза в декаду.

*Созревание.* Этапы созревания ягод в кистях отмечают при достижении ими размеров и расцветки, соответствующих наблюдаемому сорту. Полная и промышленная зрелость отмечается, когда состояние ягод в кистях соответствует всем признакам, которыми характеризуется сорт: плотность кисти, размеры ягод, полнота и окраска ягод в кисти, прозрачность кожицы ягод светлых сортов, сладость ягод и коричневая окраска семян внутри ягод (рис. 11.28).

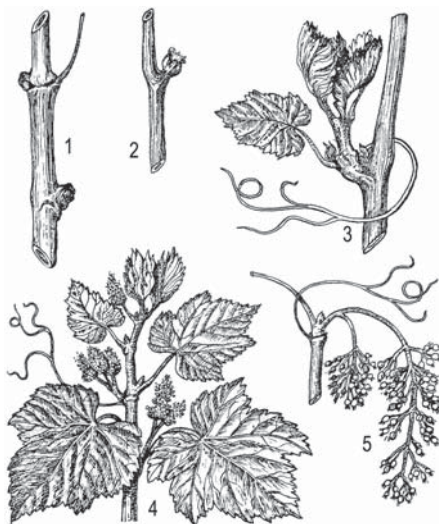


Рис. 11.26. Основные фазы развития винограда:

- 1 – покоящийся глазок; 2 – набухание глазков (почек); 3 – развёртывание 3-го листа; 4 – появление первых соцветий; 5 – цветение



Рис. 11.27. Схема строения цветка винограда





Рис. 11.28. Различные сорта винограда:

1 – Кишмиш белый; 2 – Шасла белая; 3 – Мускат розовый; 4 – Карабурну; 5 – Каберне Совиньон; 6 – Хусайне белый (Дамские пальчики); 7 – Саперави

**Листопад.** Отмечают дату опадения почти всех листьев на большинстве наблюдаемых растений конкретного сорта. Преждевременное опадение листьев наблюдается обычно под влиянием неблагоприятных погодных условий (ранние заморозки).

#### 11.4. Основные фазы развития сеяных трав и природных кормовых угодий

В кормопроизводстве различают сеяные однолетние и многолетние травы. Однолетние травы заканчивают вегетационный период (от семени до семени) в течение одного года. Многолетние травы имеют подземные многолетние побеги с почками возобновления. Среди высеваемых растений основное место принадлежит злаковым, бобовым и крестоцветным культурам, используемых также в смешанных посевах: в виде вико-овсяных, бобово-ячменных и других смесей. Эти культуры используют на корм скоту в виде «зелёнки»<sup>1</sup>, сена, сенажа, силоса, приготовления травяной муки и т. п.

<sup>1</sup> Зелёнка – свежая растительная масса, используемая сельскохозяйственными животными сразу после её скашивания.

**Однолетние злаковые травы (райграс однолетний, суданская трава, мозар, костёр и др.).** Наблюдаемые фазы развития:

- всходы;
- 3-й лист;
- кущение;
- колошение (вымётывание метёлки);
- цветение;
- созревание семян.

Морфологические признаки фаз развития этих трав аналогичны описанным фазам в разделе 11.2. Иллюстрации представлены в Приложении 5.

**Многолетние злаковые травы (ежа сборная, костёр безостый, мятлик луговой, райграс многолетний, тимофеевка луговая и др.).** Иллюстрации фаз развития представлены в Приложении 5. Наблюдаемые фазы развития:

- всходы (первого года жизни);
- возобновление вегетации (второго и последующих лет жизни);
- рост стебля;
- колошение (вымётывание);
- цветение;
- созревание семян;
- прекращение вегетации.

**Многолетние бобовые и крестоцветные травы (клевер, люцерна, донник, эспарцет, астрагалы, горошек, козлятник восточный, чина и др.).** Наблюдаемые фазы развития:

- возобновление вегетации;
- начало роста стебля (цветоноса);
- появление соцветий;
- цветение;
- созревание семян;
- прекращение вегетации.

Иллюстрации фаз развития представлены в Приложении 5.

После скашивания (или стравливания) однолетних и многолетних трав и трав в природных угодьях первой фазой, отмечаемой наблюдателем, будет *отрастание*. Фаза прекращения вегетации сеяных трав и растущих в природных кормовых угодьях отмечается перед уходом в зиму.



### **11.5. Основные фазы развития дикорастущих древесно-кустарниковых форм (берёза, дуб, клён, лиственница, осина, тополь, рябина и др.)**

Растения, отбираемые для фенологических наблюдений на станциях, должны быть широко распространенными, безошибочно распознаваемыми людьми. Перечень таких объектов для наблюдений на станциях определяется в планах-заданиях, составляемых в ГМЦ (ЦГМС). Иллюстрации фаз развития этих форм представлены в Приложении 6. Наблюдаемые фазы:

- начало сокодвижения (только у берёзы и клёна);
- начало распускания листовых почек;
- начало разворачивания первых листьев;
- зеленение (у хвойных пород; особенно ярко проявляется у лиственницы);
- начало цветения;
- созревание семян (плодов);
- осеннее расцветивание листьев (у березы, дуба, клена, липы, лиственницы);
- листопад (у листопадных форм и лиственницы);
- окончание листопада.

*Начало сокодвижения.* Для определения этой фазы производится осмотр наблюдаемых экземпляров после того, как дневная температура воздуха превысит 3 °С.; зачастую это происходит в период весенних оттепелей. Для определения фазы на южной стороне дерева на высоте 150–175 см от поверхности почвы толстой иглой (шилом) делают прокол коры до древесины. При сокодвижении уже через несколько минут из образовавшегося отверстия появится капля сока. Это и считается началом фазы.

Начало набухания листовых почек у древесно-кустарниковых пород проиллюстрировано на рис. 11.22.

*Начало развёртывания первых листьев* показано на рис. 11.23. У хвойных пород вместо этой фазы отмечают фазу зеленения – хвоя, появившаяся из почек, имеет вид пучка отдельных хвоинок (у лиственницы), у сосны – сидящие попарно на молодом побеге отдельные хвоинки.

*Начало цветения.* У растений, опыляемых с помощью ветра, признаком цветения является высыпание пыльцы из мужских (тычиночных соцветий). Эта фаза у различных древесно-кустарниковых форм показана на рис. 11.29. и 11.30.



Рис. 11.29. Фаза начала цветения:

1 – ольха серая; 2 – лещина; 3 – верба красная; 4 – вяз обыкновенный; 5 – лиственница. П – пыльниковые колоски (рис. А.А. Шиголева)

**Созревание семян (плодов).**  
У растений, относящихся к различным семействам и родам, имеющих не одинаковые, генетически определяемые сроки плодоношения, эта фаза проявляется морфологически не одинаково, отмечают её в различные периоды вегетации: *берёза* – в середине лета под кроной растения появляются опавшие мелкие многочисленные плоды-семянки; *вяз* – в середине осени опадают первые полностью побуревшие плоды (крылатые орешки); *дуб* – во второй половине осени зелёная окраска плодов сменяется на светло-жёлтые, серо-коричневые тона, жёлуди легко отделяются от чашечки (плюски) и выпадают,

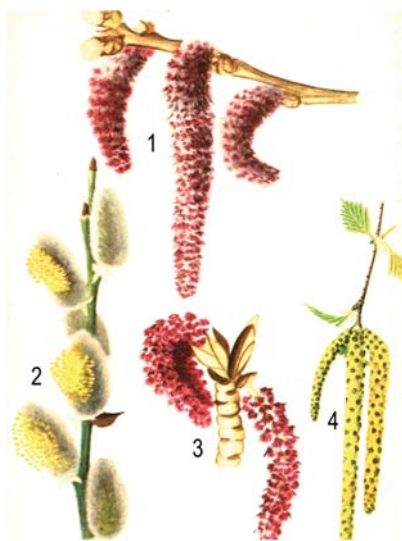


Рис 11.30. Фаза начала цветения:

1 – осина; 2 – ива-бредина; 3 – тополь душистый; 4 – берёза (рис. А.А. Шиголева)

иногда они опадают вместе с плюсками; *клён* – в середине осени отдельные плоды-крылатки изменяют светло-зелёную окраску на серо-землистую, разъединяются на две крылатки и постепенно опадают; *рябина* – в начале осени сочные, красные плоды-ягоды изменяют окраску на буро-красную; плоды, теряющие часть влаги, становятся более сухими, внутри которых обнаруживаются семена коричневого цвета; *осина* – семена, опушённые множеством белых мягких волосков, легко рассеиваются ветром – «лёт пуха» в первой половине лета; *тополь* – в начале лета в воздухе появляется первый тополиный «пух» – это семена, окутанные рыхлым сплетением волосков, легко переносимые ветром и т. п.

*Осеннее расцветивание листьев* – при наблюдениях эта фаза отмечается одной датой, когда начинается массовое изменение окраски листьев на наблюдаемых растениях. На Европейской территории страны это происходит в сентябре – октябре. Фаза свойственна не каждому роду (виду) древесных пород. Чаще всего проявление «золотой осени» отмечается на различных видах клёна, осины, рябины, аронии (черноплодной рябины), березы и др. В жёлто-оранжевые тона окрашиваются пучки иголок лиственницы, в дальнейшем полностью опадающие с ветвей. У листопадных пород это красочное явление (фаза) наблюдается не ежегодно и зависит не только от сезонного изменения спектрального состава солнечных лучей, но и от складывающихся условий температурного режима и облачности. В тёплую осень раскрашивание листьев происходит раньше и ярче, но и листопад начинается раньше средних многолетних сроков.

*Листопад* происходит под влиянием заметного снижения температуры воздуха и ветров и отмечается как *окончание листопада* при полном освобождении деревьев от листьев.

Результаты регулярных наблюдений за циклами сезонного развития природы широко используются в сельском хозяйстве, в лесоводстве и садоводстве, при организации парков, зелёных зон и цветников в городах. Многолетние качественные наблюдения, проведённые на сети станций и постов, находят своё применение при составлении Календарей природы области (края). Фитофенологические карты-схемы применяются в климатологии. Например, фенологические сроки облиствения, зацветания и созревания плодов дикорастущих деревьев и кустарников тесно коррелируют с динамикой температуры приземного слоя воздуха, что позволяет использовать их в качестве индикаторов условий среды и показателей сложившегося температурного режима. В качестве примера представим фитофенологическую карту (рис. 11.31).

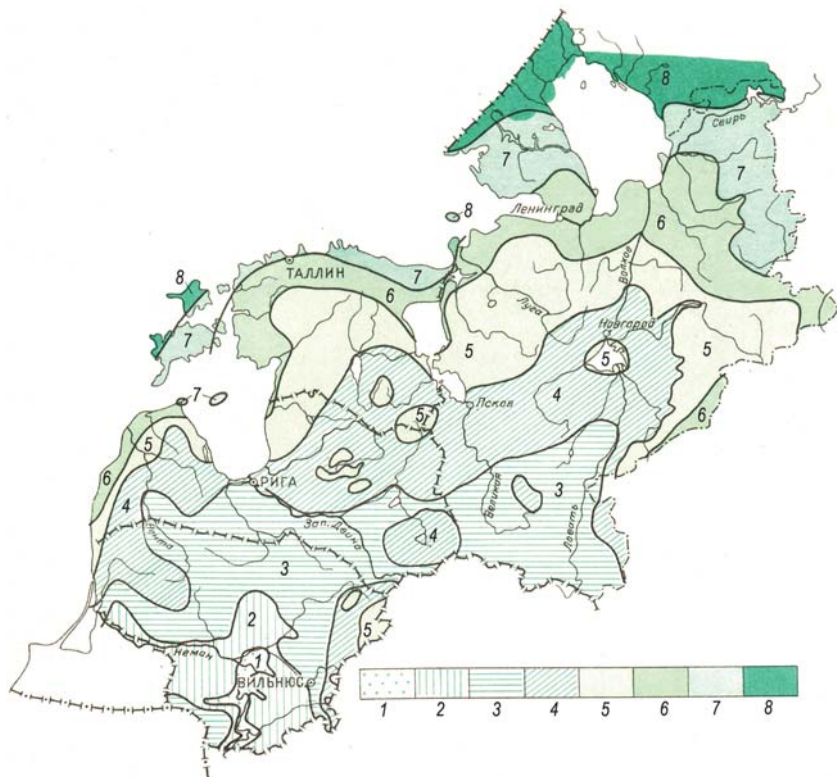


Рис. 11.31. Фитофенологическая карта сроков зацветания черёмухи обыкновенной на северо-западе России и прилегающих стран Балтии:

- 1 – зацветание черёмухи до 10 мая; 2 – 11–13 мая; 3 – 14–16 мая;  
4 – 17–19 мая; 5 – 20–22 мая; 6 – 23–25 мая; 7 – 26–28 мая;  
8 – позже 28 мая (по Г.С. Малышевой)

Сравнение динамики сезонного развития природы за различные периоды со средними многолетними данными позволяет оценивать изменения, происходящие в ритмике и в сроках прохождения основных фаз развития растений под влиянием климатических изменений на больших территориях. Например, карта изменения средних многолетних сроков (сутки) фазы развёртывания первых листьев у берёзы бородавчатой на Европейской территории России за период 1970–2000 гг., наблюдаемой под влиянием потепления климата (рис. 11.32).

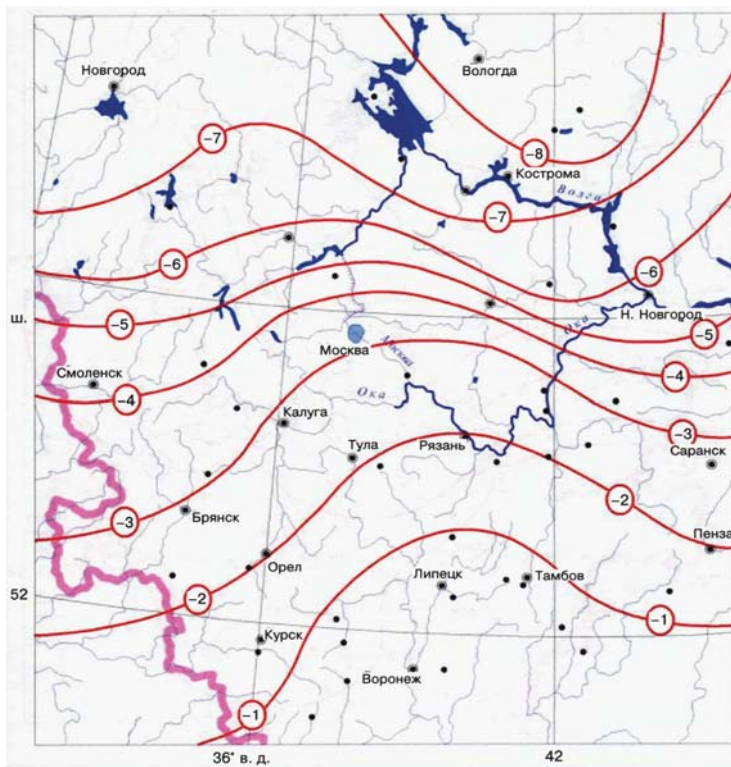


Рис. 11.32. Изохроны смещения на более ранние сроки (сутки) дат распускания первых листьев у берёзы бородавчатой за период с 1970 по 2000 год по сравнению со средними многолетними датами на Европейской территории России.

Цифры в кружках со знаком «минус» – более раннее наступление этой даты в сутках. Точками показаны пункты фенологических наблюдений. (Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. Том II. Росгидромет. Раздел 2.6 Природные экосистемы суши. С. 101 – 106. 2008)

Таким образом, результаты фенологических наблюдений, обобщённые по территориям и осреднённые за ряд лет, представляют большую научную ценность в изучении особенностей окружающей природы, имеют широкую сферу практического использования фенологических знаний, в частности в регистрации сдвига сроков наступления фаз развития в условиях изменения климата.

### **Контрольные вопросы**

1. Расскажите о составе, сроках и правилах проведения фенологических наблюдений.
2. Как определяются фазы развития у растений?
3. Перечислите основные фазы развития однодольных и двудольных растений у однолетних и многолетних сельскохозяйственных культур.
4. В чём заключаются различия в проведении фенологических наблюдений на посевах сельскохозяйственных культур и в садах и виноградниках?
5. От чего зависит точность фенологических наблюдений?
6. Может ли нарушаться очередность наступления фаз развития растений? Приведите примеры.
7. По каким признакам выделяются «типичные» растения?
8. Перечислите основные фазы развития зерновых культур, картофеля, овощных культур.
9. Перечислите основные фазы развития у основных плодово-ягодных культур и винограда.
10. Перечислите основные фазы развития дикорастущих деревьев и кустарников.
11. Где используются результаты фенологических наблюдений?

### *Задание*

1. Проведите фенологические наблюдения за различными сельскохозяйственными растениями, плодовыми культурами, за объектами древесно-кустарниковых пород в течение весны, лета и осени и занесите результаты наблюдений в таблицу 108 книжки КСХ-1м.



## Глава 12

# ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА. МЕТОДЫ ЕЁ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ

### 12.1. Основные термины и определения почвенной влаги

В неорошаемых условиях влага в почву попадает из атмосферных жидких, твёрдых и парообразных осадков. Методы измерения атмосферных осадков изложены в Части 1, главе 8, в разделах 8.1 и 8.2. Другим путём формирования запасов влаги в почве являются различные методы орошения, которые не рассматриваются в настоящем Практикуме.

**Почва** – это природное образование, состоящее из генетически связанных почвенных горизонтов, формирующихся в результате преобразования поверхностных слоёв горных пород и рельефа под воздействием воды, ветра и живых организмов. Почва отличается от всех других природных субстратов **плодородием**. Плодородие – это совокупность свойств почвы, удовлетворяющих потребность растений в питательных веществах, влаге, воздухе, микробиологической и физико-химической среде, которые обеспечивают формирование органического вещества растений, в том числе и сельскохозяйственных культур.

Почва состоит из твёрдой, жидкой, газообразной и живой (биота) частей, количественное соотношение которых в различных почвах неодинаково. *Твёрдая* часть почвы состоит из различных фракций: камень, гравий, песок, суглинок, глина, ил, коллоиды. Относительное содержание в почве неагрегированных частиц различного размера характеризует механический (*гранулометрический*) состав почвы. От этого состава зависят такие физические характеристики почвы, как водопроницаемость, влагоёмкость, теплоёмкость, теплопроводность и т. п. Это важнейшие агрофизические и агрономические характеристики почвы, обуславливающие её технологические свойства: твердость, плотность, липкость, связность пласта и др. От них, в свою очередь, зависит качество



механической обработки, поскольку гранулометрический состав и различное состояние пахотного горизонта оказывают не одинаковое сопротивление при её механической обработке.

**Почвенной влагой** называется вода, содержащаяся в почве в жидком, твердом и парообразном состояниях. Влага, находящаяся в корнеобитаемых горизонтах почвы, является основным источником водоснабжения растений.

**Водный режим почвы** – это совокупность процессов, обуславливающих приход, передвижение, расход и использование растениями почвенной влаги в определённый промежуток времени (год, сезон, месяц, декада). Динамичное состояние почвенной влаги определяется не только типом самой почвы, её водно-физическими свойствами, но и комплексом экологических и складывающихся погодных условий: температурой почвы и воздуха, ветром, рельефом, наличием и особенностями растительного покрова и др. Взаимодействие воды с почвой, механизмы передвижения почвенной влаги и её усвоение растениями в почвах, различных по механическому составу, структуре, порозности, происходит неодинаково. Почва представляет собой дисперсное тело, состоящее из большого числа частичек различных размеров и формы. В природных условиях элементарные частицы почвы коагулируют<sup>1</sup> и образуют *агрегаты* – структурные отдельности (зернистые, ореховидные, пластинчатые и др.), которые, соединяясь друг с другом, образуют более крупные и сложные агрегаты. Между почвенными частицами внутри агрегатов формируется система пор, заполняемых воздухом и водой. Почвенная влага, находящаяся в порах различных размеров и формы, имеет огромную поверхность раздела, содержит как положительные, так и отрицательные ионы. Это обуславливает неоднородность физических и химических свойств содержащейся в почве влаги. Свойства почвенной влаги значительно отличаются от свойств жидкой воды.

В основу установления водно-физических свойств почвы<sup>2</sup> положен принцип разделения почвенной влаги по степени связности, подвижности и её доступности для растений. Различают три различные по физическим и химическим свойствам категории почвенной влаги: *связанную, капиллярную и гравитационную*.

<sup>1</sup> Коагуляция – (от лат.) – свёртывание, сгущение.

<sup>2</sup> Водно-физические или агрогидрологические свойства почвы.

**Связанная влага** – часть почвенной влаги, которая находится под влиянием сорбционных сил<sup>1</sup>. Абсолютно сухая почва, высушенная в термостате до постоянной массы, обладает способностью поглощать водяной пар из воздуха (с относительной влажностью не выше 98 %), т. е. сорбировать парообразную влагу, находящуюся в воздухе. Это свойство почвы называют *гигроскопичностью*. Количество влаги, которое способна удерживать обезвоженная почва, называют *гигроскопической влажностью* или *максимальной гигроскопичностью* (МГ). Значение МГ зависит от механического состава почвы: чем меньше размеры частиц почвы, тем больше площадь их общей поверхности и тем больше сорбируется на ней парообразной влаги. В различных почвах она варьирует обычно в пределах 2–15 %. МГ превышает гигроскопическую влагу не более чем в два раза. С увеличением относительной влажности воздуха содержание гигроскопической влаги возрастает в виде многих слоёв молекул воды, удерживаемой силами молекулярного сцепления, которые очень велики и создают повышенную плотность воды у поверхности почвенных частиц. Вода, содержащаяся в этом слое, по терминологии А. А. Роде, называется *прочносвязанной влагой*. Максимальное значение плотности внутренних слоёв связанной воды достигает 1,4–1,7 г/см<sup>3</sup>. Прочно связанная влага недоступна для корневых систем растений, поскольку между молекулами адсорбированной влаги и поверхностью почвенных частиц существует мощное силовое поле – от 50 до нескольких десятков тысяч атмосфер<sup>2</sup>. Такая влага не обладает электропроводностью, не растворяет электролиты и другие вещества, обычно растворяющиеся в воде; она перемещается только в парообразной форме. По мере нарастания новых слоёв молекул (при относительной влажности более 100 %) и удаления от адсорбирующей поверхности почвенных частиц свойства связанной воды меняются: её внешние слои удерживаются с меньшей силой. Этот вид почвенной влаги называется *рыхлосвязанной*. По своим свойствам она приближается к свойствам обыкновенной воды; в почвенных порах она постепенно переходит в свободную воду. Рыхлосвязанную влагу называют также *плёночной почвенной влагой*.

---

<sup>1</sup> Сорбционные силы – это силы молекулярного притяжения, проявляющиеся в процессе поглощения почвой влаги и закрепляющие молекулы воды около поверхности почвенных частиц, создавая вокруг них водные оболочки. По мере увеличения толщины водных оболочек сорбционные силы слабеют. Эти силы удерживают в почве прочно- и рыхлосвязанную воду (Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь, том III.).

<sup>2</sup> 1 атмосфера равна приблизительно 1000 гПа.

**Капиллярной влагой** называется свободная вода, удерживаемая или перемещающаяся в почве под влиянием капиллярных (менисковых) сил. Капиллярные силы определяются главным образом размерами и формой почвенных пор, а также свойствами почвенного раствора. Капиллярная влага находится поверх пленочной и удерживается в почве силой около 500 гПа. Это – подвижная форма воды, способная растворять вещества, содержащиеся в частичках почвы. Она доступна для всасывания корневыми волосками растений. Поступающая на поверхность почвы вода (дождевая, талая, оросительная) под воздействием силы тяжести просачивается внутрь почвенных слоев, вытесняет воздух, заполняя поры и капилляры. По мере увеличения массы поступающей воды мощность промоченного слоя почвы увеличивается. **Свободная и капиллярная влага, длительно удерживаемая в почве сорбционными и менисковыми силами в малоподвижном состоянии и несоединенная с грунтовыми водами (водоносным горизонтом), называется капиллярно-подвешенной влагой.**

Влага, поступающая по почвенным капиллярам снизу вверх, от водоносных горизонтов, которые как бы подпирают её, называется **капиллярно-подпёртой влагой**. Слои почвы, насыщенный капиллярно-подпёртой влагой, над зеркалом (уровнем) грунтовых вод называют **капиллярной каймой**. В условиях, когда слои капиллярно-подвешенной и капиллярно-подпёртой влаги смыкаются (между ними не остаётся прослойки сухой почвы), грунтовая вода поднимается по капиллярам к поверхности почвы и испаряется. Минерализованные грунтовые воды обогащают почву солями, что в условиях высоких температур поверхности почвы и приземного слоя воздуха способствует засолению и осолонцеванию почвы.

**Свободной гравитационной влагой** называется влага, свободная от влияния сорбционных и капиллярных сил, заполняющая некапиллярные промежутки между агрегатами почвы, передвигающаяся под действием силы тяжести (гравитации). Эта влага способна растворять и переносить соли, коллоиды, суспензии по почвенным горизонтам, она доступна для корневых систем растений, всасывающих влагу. При заполнении практически всех пор и полостей между почвенными агрегатами вода вытесняет воздух и создает **анаэробные условия**, т. е. безвоздушные, губительные для большинства сельскохозяйственных культур (кроме риса и некоторых других). Если на пути просачивающейся гравитационной воды встречается водоупорный слой, вода накапливается над ним,

заполняя свободные почвенные поры вышележащих слоёв почвы. Такая влага называется **гравитационной подпёртой влагой**.

## **12.2. Агрогидрологические свойства почвы (АГСП) и методы их определения**

АГСП зависят от типа почвы, глубины почвенных горизонтов и способов обработки почвы. Количественно они характеризуют состояние и режим влаги в почве, занятой посевами сельскохозяйственных культур или естественной растительностью. АГСП определяют на сельскохозяйственных полях, на которых проводят агрометеорологические наблюдения в соответствии с действующим Наставлением. Определения АГСП проводят с целью:

- расчёта запасов продуктивной влаги на наблюдательном агрометеорологическом участке;
- оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур;
- контроля данных определения влажности почвы;
- агрономической характеристики почвы наблюдательного участка, на котором проводят агрометеорологические наблюдения;
- расчёта поливных норм в районах орошаемого земледелия.

Определение АГСП производится: в полевых условиях (А) и (Б) – в специально оборудованных Агрогидрологических лабораториях УГМС и ЦГМС, имеющих комплект соответствующих приборов и применяющих стандартные методы определения, принятые в системе Гидрометеорологической службы страны.

### **А. Определение АГСП в полевых условиях**

Сокращённая программа полевых работ включает:

- морфологическое описание почвы (визуально);
- определение мощности гумусового слоя почвы;
- определение плотности почвы;
- определение наименьшей влагоёмкости почвы;
- отбор образцов почвы для определения АГСП.

Полевые работы по определению АГСП обычно начинают проводить через месяц после начала вегетации сельскохозяйственных культур и заканчивают за месяц до окончания их вегетации.

Морфологическое описание почвы проводят по одной из освещённых солнцем стенок почвенного разреза, размеры которого должны составлять: длина 150 см, ширина 70 см, глубина 120 см (рис. 12.1).

Описывают следующие морфологические признаки: мощность слоёв (см), цвет слоёв (визуально), механический состав (визуально), структура, наличие включений (например, кристаллы гипса и др.), вскипание от 10-процентного раствора соляной кислоты, степень каменности (визуально, %).

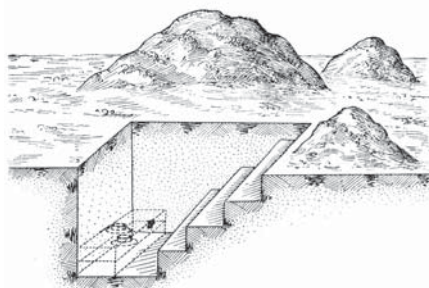


Рис. 12.1. Типовой почвенный разрез

Перед описанием профиля любой почвы подразделяют на генетические горизонты, обозначаемые латинскими буквами алфавита начиная с верхнего горизонта: А, В, С (рис. 12.2).

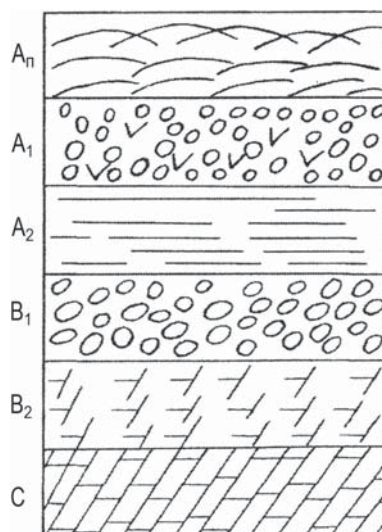


Рис. 12.2. Схема строения почвенного профиля:

А – аккумулятивный, перегнойный горизонт, в котором происходит разложение органических веществ и зольных элементов;  $A_p$  – пахотный подгоризонт;  $A_1$  – незатронутая обработкой часть гумусового горизонта;  $A_2$  – подгоризонт вымывания с признаками оподзоливания (ослабление темной окраски); В – горизонт вымывания из гумусового горизонта; по интенсивности окраски, сложения, механическому составу, структуре может быть разделен на подгоризонты  $B_1$ ,  $B_2$  и т. п.; С – материнская порода, мало затронутая почвообразовательными процессами

В Приложении 7 приведены примеры почвенных разрезов, относящиеся к основным типам почвы растениеводческой зоны России.

В каждом горизонте описываются отдельно: цвет, структура, механический состав, сложение, наличие включений, каменистость и т. п. Соотношение (в процентах) различных по размеру твёрдых частиц характеризует *механический состав почвы*. Механический состав почвы является важной агрономической характеристикой, необходимой для определения производственной ценности земельного клина, т. е. физических и физико-механических свойств почвы. В зависимости от преобладания тех или иных частиц различают почвы легкого механического состава, среднего и тяжёлого. Существует оперативный органолептический (визуальный) способ приблизительного определения механического состава почвы непосредственно в поле (рис. 12.3).






Механический состав	Вид образца в плане после раскатывания
Глина (шнур сплошной, кольцо цельное)	
Тяжёлый суглинок (шнур сплошной, кольцо с трещинами)	
Средний суглинок (шнур сплошной, кольцо при свёртывании распадается)	
Лёгкий суглинок (шнур дробится при раскатывании) Супесь (зачатки шнура)	
Песок (шнур не образуется)	

Рис. 12.3. Показатели органолептического способа определения механического состава почвы (метод раскатывания)

Способность почвы распадаться на агрегаты (отдельности) называют *структурностью*. Наиболее агрономически ценной является мелкокомковатая структура с комочками от 1 до 10 мм. Каждому типу почвы и каждому генетическому горизонту свойственны определённые типы почвенных структур. Наиболее

известна классификация структурных отдельностей, разработанная С. А. Захаровым (рис. 12.4).

Подробнее эти описания приведены в «Руководстве» 2002 г. Результаты морфологического описания заносятся в книжку КСХ-4п.

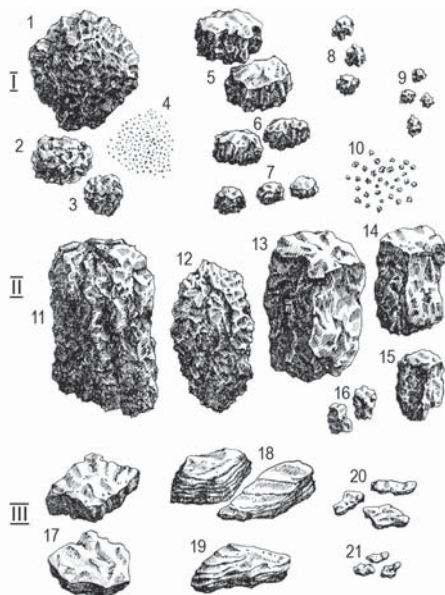


Рис. 12.4. Типичные структурные элементы почв:

- I тип: 1 – крупнокомковатая; 2 – среднекомковатая; 3 – мелкокомковатая; 4 – пылеватая; 5 – крупноореховатая; 6 – ореховатая; 7 – мелкоореховатая; 8 – крупнозернистая; 9 – зернистая; 10 – порошистая.
- II тип: 11 – столбчатая; 12 – столбовидная; 13 – крупнопризматическая; 14 – призматическая; 15 – мелкопризматическая; 16 – тонкопризматическая;
- III тип: 17 – сланцевая; 18 – пластическая; 19 – листовая; 20 – грубочешуйчатая; 21 – мелкочешуйчатая

*Мощность гумусового слоя* является качественной характеристикой плодородия почвы, определяется суммарной протяжённостью горизонтов А и В, в которых визуальнo отмечают наличие гумусового вещества тёмного цвета, при этом мощность (толщину) гумусового слоя измеряют линейкой (см).

*Плотность почвы* (ранее она называлась *объёмной массой*) – это масса единицы объёма абсолютно сухой почвы ненарушенного сложения; выражается в граммах на 1 см<sup>3</sup> (г/см<sup>3</sup>). Значение плотности почвы используется при расчётах запасов влаги, выраженных



в мм водного слоя. Величину плотности почвы определяют по образцам почвы, отбираемых с помощью почвенных буров нескольких модификаций: АМ-7 (рис. 12.5), а также БПС-5 и БПС-10 (рис. 12.6).

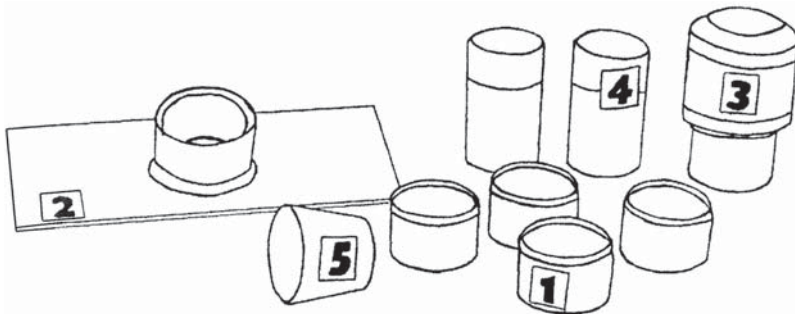


Рис. 12.5. Схематическое изображение бура почвенного АМ-7: 1 – буровой цилиндр (4 шт.); 2 – направляющий цилиндр; 3 – боёк; 4 – алюминиевые стаканы с крышками; 5 – воронка

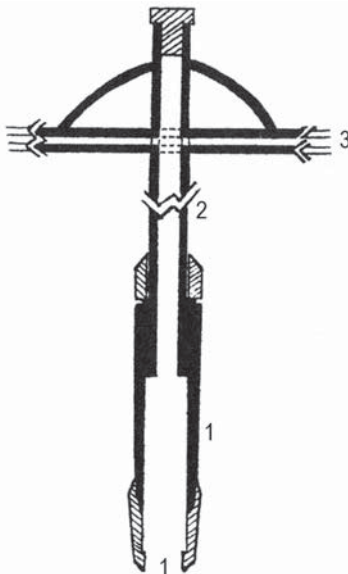


Рис. 12.6. Схематическое изображение почвенного бура БПС-10: 1 – буровой цилиндр; 2 – штанга с рисками через каждые 10 см глубины погружения бурового цилиндра в почву; 3 – ручка

В комплект бура также входят: лопатка, молоток, нож, плёнка, ящик с 30 стаканами и сумка. Масса бура – 3,5 кг. Объём почвенной пробы –  $(100,0 \pm 1,0)$  г/см<sup>3</sup>. Образцы почвы отбирают с помощью бура АМ-7 из предварительно подготовленного почвенного разреза.

Объём образца бура БПС-5 составляет 50 см<sup>3</sup>, бура БПС-10 – 100 см<sup>3</sup>. Эти буры состоят из бурового цилиндра, штанги, ручки, верхнего и нижнего ограничителя, которые вставляются в отверстия штанги для её заглубления на заданную глубину. В их комплекты входят: кувалда, выталкиватель, полукруглый напильник, отвёртка, клеёнка и ящик со стаканчиками. В верхней части штанги находится боёк, по которому ударяют кувалдой, чтобы заглубить цилиндр, не нарушая естественной структуры почвы.

С помощью бура АМ-7 плотность почвы определяют в одном разрезе, расположенном в средней части одной из сторон наблюдательного участка. Образцы почвы берут в трёх повторностях из средней части каждого 10-сантиметрового слоя. Техника отбора проб почвы детально описана в Руководстве (2002 г., с. 23 – 25). Пример записи результатов определения плотности почвы приведён в таблице 12.1.

Таблица 12.1

Глубина слоя, см	Повторность	Номер стакана	Масса пустого стакана, г	Масса почвы и стакана после сушки, г		Масса абсолютно сухой почвы, г	Плотность почвы, г		Примечание
				1	2		каждой повторности	средняя	
0–10	1	1	62,7	171,2	171,2	108,5	1,08	1,08	Уплотнённый, сухой слой
	2	2	53,8	162,0	162,0	107,2	1,07		
0–20	3	3	50,4	152,6	152,6	102,2	1,02	1,04	Уплотнённый, слабо увлажнённый слой
	4	4	54,7	159,8	159,8	105,1	1,05		

*Примечание.* Согласно Наставлению (РД 52.33.219 – 2002) предусмотрена трёхкратная повторность взятия образцов почвы и их осреднение. В настоящей таблице приведены только две повторности в качестве примера.

Поскольку объём этого бурового цилиндра составляет 100 см<sup>3</sup>, плотность почвы получают делением массы абсолютно сухой почвы на 100. Значение плотности почвы вычисляют до второго знака после запятой и записывают среднюю величину из трёх измерений.

Отбор образцов для определения плотности почвы с помощью буров Скипского (БПС-5 и БПС-10) можно проводить также в трёх точках (скважинах), расположенных вдоль одной из сторон наблюдательного участка, до глубины 100 – 150 см.

*Наименьшая влагоёмкость почвы*<sup>1</sup> – это наибольшее (максимальное) количество влаги (подвешенной), которое может удерживаться в однородной почвенно-грунтовой толще естественного сложения после её избыточного увлажнения и стекания влаги гравитационной под действием силы тяжести при условии глубокого залегания грунтовых вод. Наименьшая влагоёмкость почвы зависит от механического состава почвы, структуры и глубины (мощности) слоя почвы. Для лёгких почв (песок) она составляет 3 – 5 %, в супесях – 8 (10) – 12 %, для суглинистых почв – 12 – 22 % и глинистых почв – 25 – 35 %.

Определение наименьшей влагоёмкости почвы производят в полевых условиях на сельскохозяйственных полях, на которых выполняются агрометеорологические наблюдения в тёплый период года. Определение проводится до глубины 100 (150) см в отдельных 10-сантиметровых слоях методом заливки двух площадок, лишённых растительного покрова. Размер каждой площадки – 1 м<sup>2</sup>. Площадки ограничивают сборно-разборным деревянным или пластмассовым каркасом толщиной от 2 до 10 мм. С внешней стороны площадка обкладывается земляным валом для предотвращения просачивания воды за пределы площадки.

Для расчёта количества заливаемой воды необходимо вблизи площадки предварительно определить: влажность почвы, наименьшую влагоёмкость и плотность почвы.

*Влажность почвы* определяют *термостатно-весовым способом* (см. раздел 12.4) в одной скважине на расстоянии 5 м от заливаемой площадки до заданной глубины. Полученные для отдельных 10-сантиметровых слоёв значения влажности почвы осредняют для всего слоя определения наименьшей влагоёмкости почвы (0 – 50 или 0 – 100 см). Данные заносят в табл. 2 КСХ-4п. Для расчёта количества воды глубину слоя промачивания увеличивают на 0,5 м по сравнению с глубиной фактического определения наименьшей влагоёмкости для учёта вероятности бокового растекания воды из площадки.

Таким же способом рассчитывают среднее значение плотности почвы.

---

<sup>1</sup> Синонимами являются: *полевая влагоёмкость почвы*; *предельная полевая влагоёмкость почвы*.

Количество воды для заливки площадки рассчитывают по формуле

$$V = 2[(W_n - W) PSH] / 100, \quad (12.1)$$

где  $V$  – количество воды, необходимое для заливки площадки, м<sup>3</sup>;  $W_n$  – наименьшая влагоёмкость, %;  $W$  – влажность почв, %;  $P$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;  $S$  – размер заливаемой площадки, м<sup>2</sup>;  $H$  – глубина промачиваемого слоя, м.

#### Пример

Рассчитаем количество воды, необходимое для заливки одной площадки 1 × 1 м на глинистом чернозёме для определения наименьшей влагоёмкости почвы до глубины 1 м. Средняя влажность метрового слоя почвы составила 18,0 %. По табл. 22 «Руководства», 2002 г., находим максимальные значения диапазона  $W_n$  в слоях 0–10 и 90–100 см. Они равны 36,6 и 30,6 соответственно. Вычисляем среднее значение  $W_n$ , которое будет равно 33,6 %. По этой же таблице находим наибольшие значения  $P$  в названных слоях. Они равны 1,16 и 1,51 г/см<sup>3</sup> соответственно. Среднее значение  $P$  будет равно 1,34 г/см<sup>3</sup>. Тогда глубина промачивания, согласно формуле (12.1), равна 1,5 м.

$$V = 2(33,6 - 18,0) \cdot 1,34 \cdot 1 \cdot 1,5 / 100 = 0,63 \text{ м}^3. \quad (12.2)$$

Таким образом, для заливки одной площадки необходимо 0,63 м<sup>3</sup> воды. Для заливки двух площадок на поле необходимо доставить 1,26 м<sup>3</sup> воды.

Этим количеством воды площадку заливают постепенно, не допуская размыва поверхности почвы и не дожидаясь её полного просачивания. После полного просачивания воды площадку укрывают тканью или плёнкой, предохраняющими поверхность почвы от прогревания, испарения, а также от попадания на площадку возможных осадков.

Первое определение влажности почвы на площадке проводят на песчаных почвах через одни сутки, на супесчаных почвах – через 2 суток, на суглинистых почвах – через 3 суток, на глинистых почвах – через 4 суток после заливки площадки. После открытия площадки в ней закладывают три скважины, расположенные от её края примерно на 30 см (рис. 12.7).

Отбор образцов почвы для определения её влажности производят по 10-см слоям. Площадку сразу же закрывают так же, как после её заливки. Отобранные образцы сразу же доставляют в лабораторию, где их сушат, взвешивают и рассчитывают влажность почвы. На следующий день после первого определения проводят второй отбор образцов почвы. Таким же образом определяют

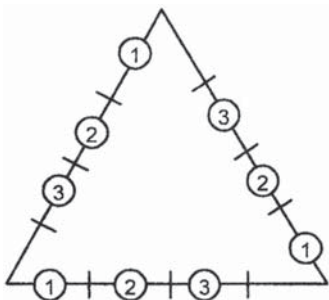


Рис. 12.7. Расположение скважин при определении наименьшей влагоёмкости почвы:

1, 2, 3 – порядковые номера взятия образцов почвы в трёхкратной повторности

влажность почвы в третий отбор образцов почвы. Затем все данные по двум площадкам и каждому определению осредняют, при этом выбраковывают и не включают в расчёты крайние значения, если их значения не укладываются в пределы доверительного интервала типичных значений  $W_n$  (см. табл. 23 в «Руководстве», 2002 г.). Полученные данные записывают в табл. 5 книжки КСХ-4п. После выбраковки рассчитывают среднее значение.

Определение наименьшей влагоёмкости на двух площадках позволяет получать её значение на поле в метровом слое почвы с погрешностью 7 мм и уровнем доверительной вероятности 0,80.

### Б. Определение АГСП в лабораторных условиях

Отбор образцов почвы для лабораторных определений АГСП. Образцы для определения плотности, максимальной гигроскопичности и влажности устойчивого завядания отбирают буром АМ-26М или буром АМ-16 из каждого 10-сантиметрового слоя в трёх точках<sup>1</sup> (скважинах), расположенных равномерно вдоль стороны наблюдательного участка. Порядок и технология отбора образцов почвы для каждого вида определения АГСП детально изложены в «Руководстве» (2002 г.).

В лабораторных условиях определяют:

- влажность устойчивого завядания ( $W_3$ );
- максимальную гигроскопичность почвы ( $W_m$ );
- плотность твёрдой фазы почвы ( $d$ );
- механический состав почвы (по фракциям);
- кислотность почвы ( $pH$ );
- гумус почвы;
- полную влагоёмкость почвы ( $W_n$ ).

Влажность устойчивого завядания растений – это влажность почвы, при которой наступает их необратимое завядание

<sup>1</sup> Точка – это площадка размером не более 1 м<sup>2</sup>.

с нормально развитой корневой системой. Величина влажности устойчивого завядания используется при расчётах запасов продуктивной влаги в почве. Эту величину определяют двумя методами. *Лабораторно-вегетационным* – путём выращивания из семян злаковых и некоторых бобовых растений: ячменя, овса, люцерны, клевера до устойчивой потери тургора листьев и прекращения их транспирации. В этот момент проводится определение влажности почвы термостатно-весовым способом. *Расчётный метод* заключается в умножении величины максимальной гигроскопичности на коэффициент 1,15. Расчётный метод является вспомогательным.

Сущность лабораторно-вегетационного метода заключается в выращивании обычно злаковых растений в специальных стаканах (сосудах,  $200 \text{ см}^3$ ), заполненных почвой со средней плотностью  $1,20 \text{ г/см}^3$ , помещённых в так называемые «вегетационные домики» – стеклянные или покрытые полиэтиленовой плёнкой, хорошо проветриваемые небольшие павильоны, на полках которых устанавливаются сосуды с растением (рис. 12.8 и 12.9).

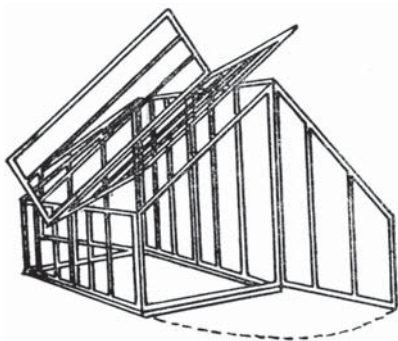


Рис. 12.8. Эскиз вегетационного домика



Рис. 12.9. Схематическое изображение вегетационного домика с подсветкой в верхней части

При заполнении стаканов почвой и до посадки наклюнувшихся семян (по одному семени в стакан) производится полив питательным раствором из расчёта  $45 - 48 \text{ см}^3$  на каждый стакан, необходимый для обеспечения роста злака до фазы 3-й лист и развития корневой системы во всей толще стакана. Норму полива определяют из расчёта нижней и верхней границ оптимального увлажнения. Процедура определения этих границ подробно описана в «Руководстве» (2002 г.).

Посадку проводят на второй или третий день после полива стаканов на глубину 1 см наклюнувшимися семенами с проросшим корешком. В период роста и развития растений в полуденные часы проводят ежедневные наблюдения за состоянием растений, измеряют температуру и влажность воздуха аспирационным психрометром. Дату посадки и результаты измерений записывают в табл. 4 книжки КСХ-4л. На третьи сутки после наложения изоляции (из кальки и песка с прорезью для стебля растения) на поверхность стакана полив растений прекращают и приступают к ежедневному взвешиванию стаканов с растущим растением с точностью до 0,1 г. Данные записывают в табл. 5 книжки КСХ 4л. Взвешивание стаканов производят до тех пор, пока ежедневная суточная разность между массами стаканов за двое суток подряд составит 0,4 г и менее. При этом у всех листьев должен отсутствовать тургор. Далее приступают к разборке содержимого стаканов и определению влажности почвы. Масса почвы в пробах должна составлять от 15 до 25 г. Результаты определения влажности почвы (т. е. влажности устойчивого завядания) записывают в табл. 6 книжки КСХ-4л. Вся последовательная технология лабораторного определения влажности устойчивого завядания описана в «Руководстве», 2002 г.

Влажность устойчивого завядания зависит в основном от физических свойств почвы (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Гранулометрический состав почвы		Влажность устойчивого завядания, %
Песок		0,5 – 1,5
Супесь		0,5 – 4,0
Суглинок:	лёгкий	3, – 7,0
	средний	5,0 – 7,0
	тяжёлый	8,0 – 12,0
Глина		12,0 – 20,0
Торф (низинные болота)		40,0 – 50,0

*Максимальная гигроскопичность почвы* – это влажность почвы, длительно находившейся в атмосфере насыщенного водяным паром воздуха (при относительной влажности воздуха 94 – 98 %). То есть это – наибольшее количество влаги, которое почва может сорбировать из воздуха, почти насыщенного водяным паром. Количество этой влаги зависит от температуры и влажности воздуха, от механического состава почвы и наличия солей. Гигроскопическая влага



удерживается в почве поверхностно-адсорбционными силами, она почти не доступна растениям. Величина максимальной гигроскопичности используется при расчётах влажности устойчивого завядания. Определение максимальной гигроскопичности проводят над раствором 10 %-ной серной кислоты  $H_2SO_4$  при давлении воздуха 40 кПа, что соответствует 30 мм рт. ст., или над раствором сернокислого калия  $K_2SO_4$  при давлении воздуха 98,1 кПа. Для определения максимальной гигроскопичности используют специальное лабораторное оборудование: барокамеры, вакуумные эксикаторы, бюксы, весы, вакуумный насос, манометр и т. п. С помощью названных кислот, размещённых в вакуумных эксикаторах, влага из воздуха и почвы «отсасывается» до значений максимальной гигроскопичности. Технология лабораторного определения подробно описана в «Руководстве» (2002 г.).

*Плотность твёрдой фазы почвы*<sup>1</sup> – это отношение массы твёрдой фазы почвы в единице объёма к массе воды в этом объёме при температуре 4 °С. Эту величину используют для расчёта полной влагоёмкости почвы. Плотность твёрдой массы почвы выражают в  $г/см^3$ . Для минеральных почв значение плотности твёрдой фазы почвы колеблется от 2,50 до 2,85  $г/см^3$ , для органических почв – от 1,40 до 2,20  $г/см^3$ .

Технология лабораторного способа определения плотности твёрдой массы почвы подробно изложена в «Руководстве» (2002 г.), поэтому здесь не приводится.

*Механический состав почвы* – это относительное содержание в почве фракций механических элементов. Механический состав почвы используется при агрономической характеристике почвы. Определяют его в лабораторных условиях по образцам почвы, отобранных в одной точке в поле (разрезе) в двукратной повторности в каждом генетическом горизонте почвы. Перечень лабораторного оборудования и химических реактивов приведён в «Руководстве» (2002 г.). Основным смыслом проведения всего комплекса работ заключается в определении различных фракций механических элементов и их процентного соотношения в почвенном образце. Технология выделения фракций механического состава образцов описана в «Руководстве» (2002 г.).

*Определение кислотности почв.* Кислотность почв – это содержание ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе – является важнейшей агрономической характеристикой

<sup>1</sup> В некоторых изданиях сохранился термин «удельная масса почвы».

почвы. Она используется при расчёте дозы извести для её внесения в почву. Кислотность почвы проявляется при взаимодействии почвы с растворами солей и определяется соотношением свободных ионов  $H^+$  и  $OH^-$  в почвенном растворе. Кислотность почвы выражают концентрацией свободных ионов  $H^+$  в виде значения  $pH$ , представляющий собой отрицательный логарифм концентрации ионов водорода. Содержание водородных ионов ( $H^+$ ) в водном растворе, выраженное в грамм-ионах на 1 литр раствора называется концентрацией водородных ионов. Если в растворе при температуре 22 °C содержится  $10^{-7}$  г/л ионов водорода, то раствор обладает нейтральной реакцией. Таким образом, значение  $pH$ , равное 7,0, характеризует нейтральную реакцию, при меньшем содержании  $H^+$  ( $pH < 7,0$ ) – кислую и при большем содержании ( $pH > 7,0$ ) – щелочную.

Наиболее кислыми являются верховые болотные почвы. Чернозёмные почвы имеют реакцию, близкую к нейтральной. Содовые солончаки, солонцы имеют щелочную реакцию ( $pH = 9,0 - 10$  и выше).

Концентрацию ионов водорода определяют в лабораториях с помощью солевой вытяжки потенциометрическим методом. По значению  $pH$  солевой вытяжки образцов почвы пахотного горизонта устанавливают дозы извести, необходимой для нейтрализации почвенной кислотности. Технология такого определения подробно описана в «Руководстве» (2002 г.).

*Определение содержания гумуса в почве.* Гумус – сложный комплекс органических соединений в почве, образующихся при разложении и гумификации<sup>1</sup> органических остатков. Основную часть гумуса составляют гумусовые вещества, представляющие собой группу темноокрашенных гуминовых кислот и группу окрашенных в жёлтый или бурый цвет фульвокислот. Негумусовых веществ в почве – около 10–15 %. В торфяных слоях болотистых почв на негумусовые вещества приходится 50–80 %, которые представлены белками, углеводами, липидами, смолами, дубильными веществами и продуктами их распада.

Содержание гумуса в почвах варьирует в верхних горизонтах от 1–2 до 8–10 %. Количество гумуса убывает с глубиной. Максимальное количество гумуса содержат мощные (тучные)

---

<sup>1</sup> Гумификация – биохимические процессы превращения продуктов разложения массы погибших растений и животных (мортмасса) в гумус, происходящие при достаточном увлажнении, положительных температурах, доступе воздуха и при участии микроорганизмов почвы. Осуществляется путём окисления и полимеризации веществ.

чернозёмы. К северу и к югу от чернозёмной зоны содержание гумуса постепенно убывает.

Определение гумуса проводят на образцах, отобранных на поле в одной точке (разрезе) в трёх слоях перегнойно-аккумулятивного и переходного горизонтов почвенного разреза (A + B). Определение гумуса в почве основано на определении валового содержания органического углерода и его пересчете в гумус методом мокрого сжигания по И. В. Тюрину (1961). Метод основан на учете бихромата калия ( $K_2Cr_2O_7$ ), расходуемого на окисление углерода гумуса. Этот метод не требует специальной аппаратуры, достаточно точен для производственных целей. Технология лабораторного определения количества гумуса в почве достаточно подробно описана в «Руководстве» (2002 г.), а также в «Руководстве по химическому анализу почв» (Аринушкина Е.В., МГУ, 1961 г.).

*Определение плотного остатка.* Плотный остаток водной вытяжки даёт представление об общем содержании в почве растворимых в воде органических и минеральных соединений, солей. Плотный остаток определяют по образцам, взятым в одной точке (разрезе) в каждом горизонте почвы в двукратной повторности в исследуемых почвах.

В незасолённых почвах величина плотного остатка варьирует от 0,1 до 0,30 %, в засоленных – превышает 0,30 %. Плотный остаток определяют из фильтрата водной вытяжки почвы. Технология фильтрования и выпаривания (без кипячения) изложена в «Руководстве» (2002 г.).

### ***Расчётные методы определения АГСП***

Расчётным методом определяют полную влагоёмкость почвы и влажность устойчивого завядания растений.

*Полная влагоёмкость почвы*<sup>1</sup> – это наибольшее количество воды, которое может содержаться в почве при заполнении всех её пор, при неизменном положении уровня грунтовых вод. Полную влагоёмкость почвы выражают в процентах от массы абсолютно сухой почвы и рассчитывают по формуле

$$W_n = [(d - P) \cdot 100] / dP, \quad (12.3)$$

где  $W_n$  – полная влагоёмкость, %;  $d$  – плотность твёрдой фазы почвы, г/см<sup>3</sup>;  $P$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Синоним: *наибольшая (предельная) влагоёмкость почвы.*

*Влажность устойчивого завядания* растений наступает при такой степени увлажнения почвы, когда в ней вследствие засыхания остается лишь влага, прочно удерживаемая почвой и недоступная растениям. Значение влажности устойчивого завядания рассчитывают по данным определения максимальной гигроскопичности почвы. Если максимальную гигроскопичность определяют с помощью 10-процентного раствора серной кислоты, то для расчёта значения влажности устойчивого завядания используют коэффициент 1,15, если с помощью насыщенного раствора сернокислого калия, то используют коэффициент 1,00.

Таким образом, определение водно-физических свойств почвы, несмотря на сложность применяемых методов, требующих определенных затрат времени и труда, является необходимым этапом в познании особенностей почвы, её водного режима и степени благоприятности для выращивания посевов различных сельскохозяйственных культур.

Систематические наблюдения за влажностью почвы осуществляется на сети метеорологических станций, привлечённых к агрометеорологическим наблюдениям (измерениям), и на агрометеорологических станциях Росгидромета. Сроки и методы таких наблюдений (измерений) регламентируются действующим «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 11. Часть I. Книга 1. (2000 г., С. 60 – 78).

### **12.3. Визуальный метод определения влажности верхних слоёв почвы**

Измерения влажности почвы проводят на выделенных наблюдательных участках и на полях визуально (балловая оценка) и инструментально, в основном термостатно-весовым методом.

*Визуальный метод определения влажности верхних слоёв почвы* заключается в глазомерной оценке (в баллах) состояния увлажнения верхнего горизонта почвы (0–2 см – поверхность почвы и 10–12 см – самый верхний её горизонт). Такая оценка проводится на участке не менее 3 × 3 м в двукратной повторности ежедневно в утренние часы (8–9 ч) в тёплый период года. В качестве вспомогательного оборудования используют шпатель или нож, фарфоровую или металлическую чашку вместимостью 150–300 см<sup>3</sup>.

Визуальная оценка степени увлажнения или состояния почвы производится в баллах по шкале (табл. 12.3).

Таблица 12.3

**Оценка степени увлажнения или состояния почвы**

Степень увлажнения или состояния почвы	Состояние почвы при механическом составе			Оценка, балл
	Глина	Суглинок	Супесь	
Покрытая снегом	Любое	Любое	Любое	0
Избыточно увлажнённая	Текучая	Текучая	Текучая	1
Сильно увлажнённая	Липкая, сильно мажется	Липкая хорошо мажется	Комок образуется, хорошо мажется	2
Хорошо увлажнённая	Легко мнётся, хорошо мажется, комок образуется	Мнётся с некоторым усилием, мажется, комок образуется	Комок образуется, мажется слабо	3
Слабо увлажнённая	Мнётся плохо, мажется слабо, комок не образуется	Мнётся плохо, мажется слабо	Комок плохо образуется (разваливается), не мажется	4
Сухая	Очень плотная, при растирании пылит	Плотная, при растирании пылит	Рыхлая, пылит	5
Мёрзлая	Очень твёрдая	Твёрдая	Влажная – твёрдая; сухая – рыхлая, пылит	6

*Покрытая снегом* почва оценивается баллом 0.

*Избыточно увлажнённой (текучей)* считают помещённую в чашку почву, если бороздка, сделанная в ней, заплывает размягчённой почвой более чем на половину своей глубины (рис. 12.10). Если комок влажной почвы приложить к кисти руки, после чего на руке останется грязный след, то такое состояние почвы называется липким (рис 12.11).



Рис. 12.10. Визуальное определение текучего состояния почвы



Рис. 12.11. Визуальное определение липкого состояния почвы

*Хорошо увлажнённой (мягкопластичной)* почву считают, если бороздка, сделанная в чашке, не заплывает, и почва не прилипает к шпателю. Такая почва легко раскатывается в шнур толщиной 3–4 мм.

*Слабовлажнённая (твёрдопластичная)* почва не раскатывается в шнур, а распадается на небольшие куски, но при этом образует сравнительно связный комок.

*Сухой (очень плотной или сыпучей)* считают почву, при сдавливании которой в руке комок не меняет своей первоначальной формы; супесчаная почва при этом совершенно не связывается в комок и рассыпается.

*Мёрзлая*, очень твёрдая почва оценивается баллом 6. В таких случаях наблюдения не проводятся.

#### **12.4. Измерение влажности почвы термостатно-весовым способом**

Физическая сущность метода заключается в определении потери влаги при высушивании почвы, выраженной в процентах массы абсолютно сухой почвы. Этот метод предусматривает полевую и лабораторную этапы работ и заключается во взятии проб почвы из скважин в определённых частях наблюдательного участка, в последующем взвешивании, высушивании и вычислении величины влажности почвы. Отбор проб осуществляется основным или упрощённым способами. С помощью основного способа пробы почвы отбираются в скважине через каждые 10 см, а с помощью упрощённого способа – через 20 см.

Для взятия проб почвы в полевых условиях используется следующее вспомогательное оборудование:

- бур почвенный АМ-26 М (рис. 12.12) и АМ-16 (рис. 12.13);
- электросушильный шкаф (разных модификаций), рис. 12.14 и 12.15;
- весы с диапазоном измерения от 0,01 до 0,5 кг с точностью счёта до 0,0001 кг (рис. 12.16);
- весы лабораторные квадрантные ВЛТК-500 Г-М (рис. 12.17);
- ящики для весовых стаканчиков (рис. 12.18);
- микрокалькулятор (любой модификации);
- стаканчики весовые с крышками (алюминиевые), ВС-1;
- шпатель;
- плёнка полиэтиленовая размером 100 × 100 см.

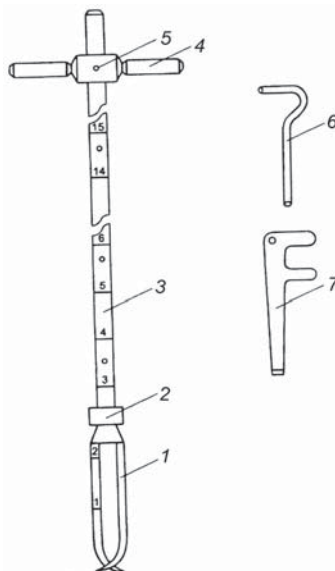


Рис. 12.12. Почвенный бур АМ-26М:  
1 – буровой стакан, 2 – контргайка, 3 – штанга, 4 – ручка,  
5 – отверстие для фиксатора, 6 – фиксатор, 7 – ключ

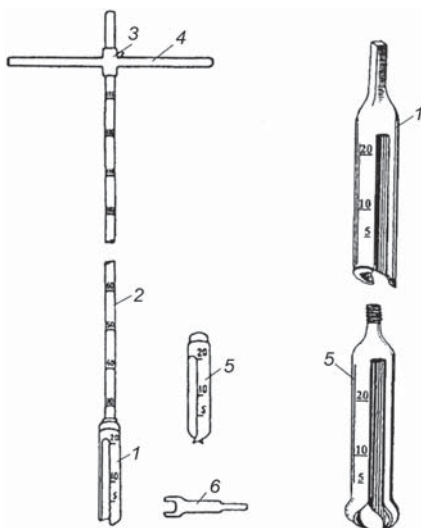


Рис. 12.13. Почвенный бур АМ-16. Буровые стаканы для плотных глинистых (1) и сыпучих почв (5)



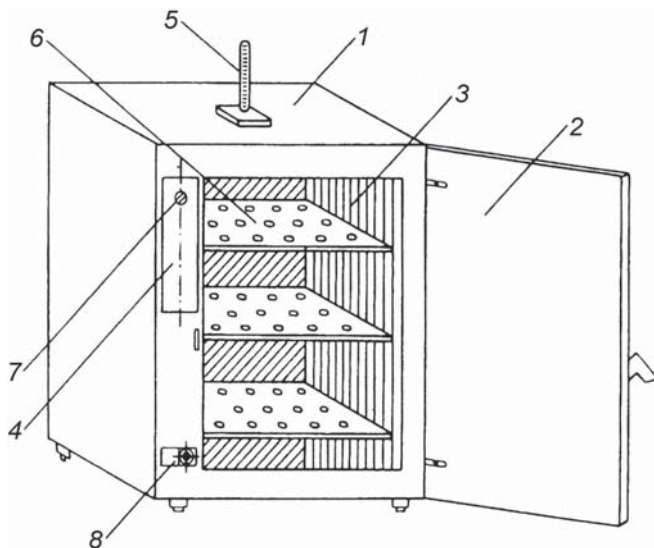


Рис. 12.14. Электрошкаф сушильный СНОЛ:

1 – корпус, 2 – дверка, 3 – камера, 4 – панель, 5 – термометр, 6 – полка, 7 – ручка терморегулятора, 8 – выключатель с индикатором

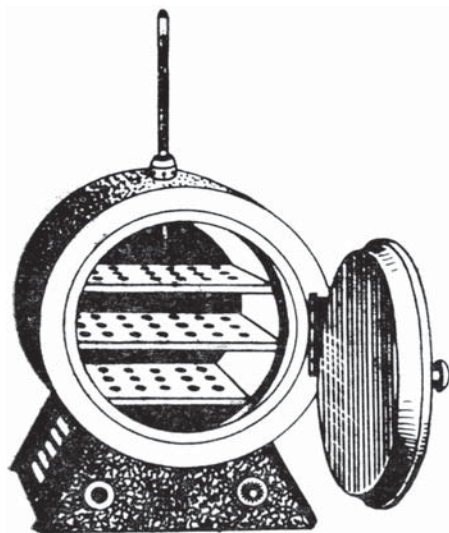


Рис. 12.15. Другая модификация электросушильного шкафа

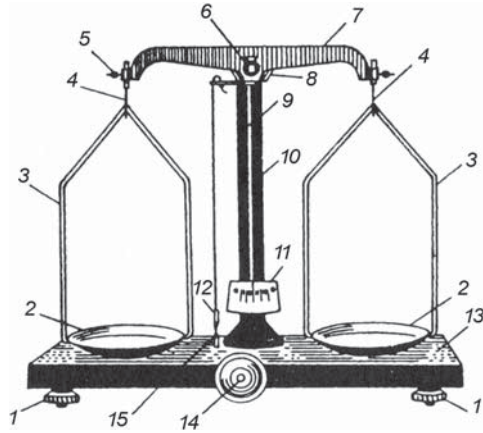


Рис. 12.16. Технические весы Т-200 (Т-1000):

- 1 – уравнильный винт, 2 – чашка, 3 – подвеска, 4 – серьга,  
 5 – винт с фасонной гайкой-грузиком, 6 – опорная подушка,  
 7 – коромысло с призмой, 8 – скоба, 9 – стрелка, 10 – колонка, 11 – шкала,  
 12 – отвес, 13 – подставка, 14 – механизм арретира, 15 – остриё

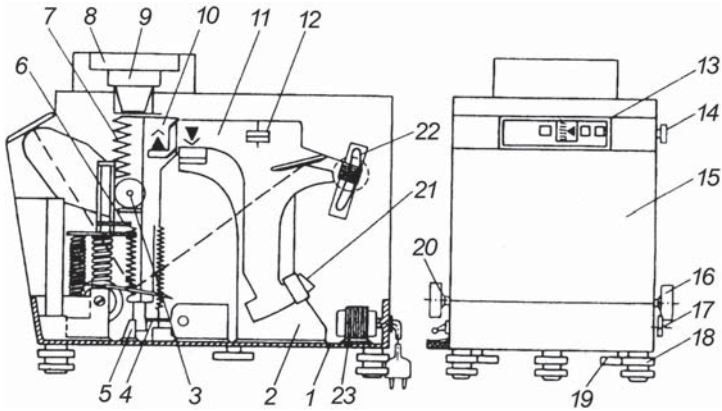


Рис. 12.17. Весы лабораторные квадрантные ВЛК-500 г-М, (ВЛК-500):

- 1 – основание, 2 – стойка, 3 – гиревой механизм, 4 – струнка,  
 5 – оптическое устройство, 6 – делительное устройство, 7 – механизм компенсации тары, 8 – съёмная рабочая чашка, 9 – подставка чашки,  
 10 – подвеска, 11 – квадрант, 12 – гайки, 13 – окна экрана, 14 – ручка делительного устройства, 15 – витрина, 16 – ручка переключателя массы, 17 – ручка установки «нуля», 18 – винт установки уровня, 19 – стопорное кольцо, 20 – ручка компенсации тары, 21 – постоянный магнит,  
 22 – шкала измерений, 23 – трансформатор

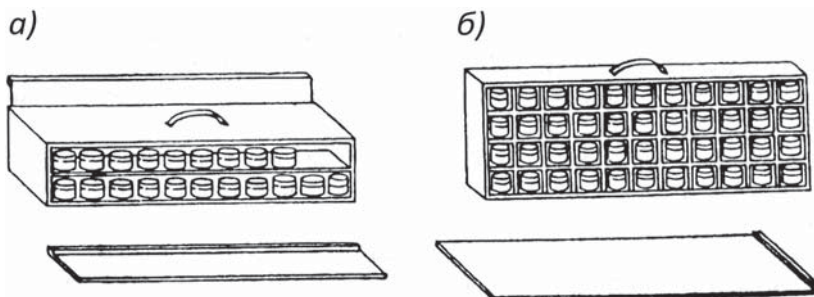


Рис. 12.18. Ящики для весовых стаканчиков размером  $12 \times 12 \times 60$  см (а) с двумя вытяжными крышками и размером  $24 \times 6 \times 60$  см (б) с одной откидной крышкой, каждый ящик ёмкостью 44 стаканчика

При вертикальном бурении из каждой скважины пробы почвы берут последовательно по мере углубления бура АМ-26М или АМ-16. Отсчёты глубины взятия пробы проводят по меткам, нанесённым на стакане и штанге бура. Пробы почвы берут из нижней части стакана, предварительно очищенной шпателем. Извлечение проб почвы из стакана бура и размещение почвы в пронумерованные стаканчики с заранее известной массой необходимо производить по возможности быстро для максимального снижения испарения влаги. После заполнения стаканчика почвой следует плотно закрыть его крышкой и обтереть снаружи. Все стаканчики с пробами почвы размещают в специальных ящиках, приспособленных для транспортировки. После окончания взятия проб почвы скважина должна быть засыпана вынутой при бурении почвой, по возможности, в обратной последовательности, т. е. сначала засыпают скважину последней выемкой почвы и заканчивают первоначальными выемками.

В лабораторных условиях производится взвешивание стаканчиков, их высушивание (со снятыми крышками) в электросушильном шкафу до постоянной массы. Продолжительность сушки для песчаных и суглинистых почв 6–7 ч, для глинистых – 8–10 ч, для торфяных – 10–12 ч. Чтобы испарение влаги в стаканчиках было равномерным, без сгорания органического вещества, находящегося обычно в пробах почвы, температура сушки устанавливается на уровне  $105^\circ\text{C}$ . После высушивания стаканчики с почвой закрывают крышками и после охлаждения до комнатной температуры взвешивают. Повторная сушка (продолжительностью 2 ч) и взвешивание стаканчиков продолжается до получения результатов разных

взвешиваний, имеющих расхождения не более 0,1 г. Влажность почвы ( $W$ ) определяют по разности массы почвы до и после высушивания и вычисляют в процентах массы абсолютно сухой почвы по формуле

$$W = (m_1 - m_0 / m_0 - m) \cdot 100, \quad (12.4)$$

где  $m_1$  – масса влажной почвы со стаканчиком и крышкой, г;  $m_0$  – масса высушенной почвы со стаканчиком и крышкой, г;  $m$  – масса пустого стаканчика с крышкой, г.

За результат определения принимают среднее арифметическое значение двух параллельных определений. Вычисления проводят до второго десятичного знака с последующим округлением результата до первого десятичного знака.

Результаты взвешивания записывают в табл. 12.4.

Таблица 12.4

Пример записи в книжке КСХ-3 при отборе проб в разновесные стаканчики

#### Определение влажности почвы

Участок № 4. Культура (угодье): яровая пшеница. Дата: 07.05.

Начало бурения: 8 ч 05 мин. Конец бурения: 8 ч 20 мин.

Время взвешивания: от 14 ч до 14 ч 50 мин.

Номер скважины (состояние культуры)	Слой почвы, см	Номер стаканчика	Масса, г					Влажность почвы, %	Характеристика почвы в пробе	
			влажной почвы и стаканчика	сухой почвы и стаканчика	стаканчика	испарившейся воды	сухой почвы без стаканчика			
1	2	3	4	5	6	7 = (4 – 5)	8 = (5 – 6)	9 = 7 : (8 × 100)	10	
1-я (кущение, оценка состояния 4 балла, засорённость 1 балл)	0–5	89	68,2	62,6	37,8	5,6	24, 8	22,6	Хорошо увлажнённая, средне-суглинистая. Более влажная. Сухая, тяжело суглинистая.	
	5–10	90	66,1	61,1	39,0	5,0	22,1	22,6		
	10–20	91	60,8	56,6	40,0	4,2	16,6	25,3		
	20–30	92	63,1	58,4	36,7	4,7	21,7	21,7		
	...	...	...	...	...	...	...	...		...
	80–90	98	71,6	68,7	37,2	2,9	31,5	9,2		
90–100	99	81,1	78,0	40,5	3,1	37,5	8,3			

## Задание 1

Определить влажность в метровом слое почвы (%) на участке дерново-подзолистой почвы под яровой пшеницей. Исходные данные в таблице 12.5.

Таблица 12.5

Номер скважины, фаза			Масса, г					Влажность почвы, %	Характеристика почвы в пробе
состояние культуры	слой почвы, см	номер стаканчика	влажной почвы	сухой почвы и стаканчика	стаканчика без почвы	испарившейся воды	сухой почвы без стаканчика		
1. Кущение 4 балла	0–5	89	61,9	54,4	22,2	7,5	32,2	23,3	Хорошо увлажнённая
	5–10	28	59,1	51,9	22,6				
	10–20	33	60,8	54,5	22,4				
	20–30	150	59,0	52,8	22,6				
	30–40	144	57,1	50,4	22,5				
	40–50	231	56,1	50,4	22,6				
	50–60	121	49,9	45,6	22,8				
	60–70	14	53,3	48,5	23,0				
	70–80	56	60,4	54,5	22,3				
	80–90	153	51,6	46,5	22,7				
	90–100	9	54,3	49,0	22,0				

*Расчёт запасов продуктивной влаги в заданных слоях почвы.*

Для сельскохозяйственного производства основное значение имеет та часть почвенной влаги, которая усваивается растениями в процессе их жизнедеятельности, синтеза органических веществ и формирования их урожайности. Это – *продуктивная влага*, а часть почвенной влаги, не усваиваемая растениями и не участвующая в создании органического вещества, называется *непродуктивной влагой*. Продуктивную влагу измеряют в миллиметрах толщины водяного слоя. В таком виде она сопоставима с данными по осадкам (приход) и испарению (расход). Нижним пределом продуктивной влаги является величина влажности устойчивого завядания, выражаемая *коэффициентом завядания (%)*. Вычисление запасов продуктивной влаги производят по формуле

$$W = 0,1 dh(V - K), \quad (12.5)$$

где  $d$  – плотность почвы ненарушенного сложения, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – толщина слоя почвы, для которой вычисляют запас влаги, см;  $V$  – влажность почвы, %;  $K$  – коэффициент завядания, %.

Продуктивную влагу корнеобитаемого слоя почвы 0 – 20, 0 – 50, 0 – 100 см (или более глубокого слоя) определяют как сумму запасов влаги по 10-сантиметровым слоям.

При отсутствии данных по влажности устойчивого завядания, его величина может быть получена расчётным путём по данным о максимальной гигроскопичности почвы путем умножения последней на осреднённую величину коэффициента 1,34. Данные о максимальной гигроскопичности почвы обычно имеются в справочниках по агрогидрологическим свойствам почвы. Примерные величины максимальной гигроскопичности почвы следующие: для песчаных почв – 0,5 – 1,5 %, для супесчаных – 1,5 – 3,0 %, для суглинистых – 3,0 – 8,0 %, для глинистых – 8,0 – 12,0 % и более.

Песчаные почвы с большим составом крупных частиц обладают малым количеством связанной воды; коэффициент завядания не превышает 2 – 3 %. Запасы продуктивной влаги при наименьшей полевой влагоёмкости составляют 100 – 150 мм.

Подзолистые супеси и легкие суглинки обладают значительным объёмным весом (до 1,3 – 1,8 г/см<sup>3</sup>) и малой скважностью. Коэффициент завядания колеблется в пределах 3 – 8 %. Запасы продуктивной влаги при наименьшей полевой влагоёмкости составляют 150 – 200 мм.

Суглинистые и тяжелосуглинистые почвы имеют объёмный вес в пределах 1,0 – 1,5. Коэффициент завядания этих почв колеблется от 9 до 15 %. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы при наименьшей полевой влагоёмкости составляют от 200 до 300 мм.

Черноземные почвы обладают малым объёмным весом (0,8 – 1,3 г/см<sup>3</sup>), большой скважностью и высоким коэффициентом завядания (11 – 18 %). Запасы продуктивной влаги при наименьшей полевой влагоёмкости составляют 150 – 200 мм.

### Задание 2

Определить запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое дерно-подзолистой почвы. Исходные данные в таблице 12.6.

Таблица 12.6

Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент завядания, %	Влажность почвы, %		Запасы продукт. влаги	
			Вариант I	Вариант II	Вариант I	Вариант II
0 – 10	1,31	6,8	23,3	15,4	21,6	11,3
10 – 20	1,35	7,3		15,9		
20 – 30	1,42	10,9		16,5		
30 – 40	1,48	11,6		16,2		

Окончание табл. 12.6

Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент завядания, %	Влажность почвы, %		Запасы продукт. влаги	
			Вариант I	Вариант II	Вариант I	Вариант II
40–50	1,51	12,1		16,8		
50–60	1,51	17,5		18,9		
60–70	1,54	16,6		19,0		
70–80	1,60	18,1		19,6		
80–90	1,60	17,5		19,7		
90–100	1,59	18,0		20,4		
0–20						
0–100						

Для более наглядного представления о соотношении всех форм воды в почве при различных степенях увлажнения приводим схему (рис. 12.19).

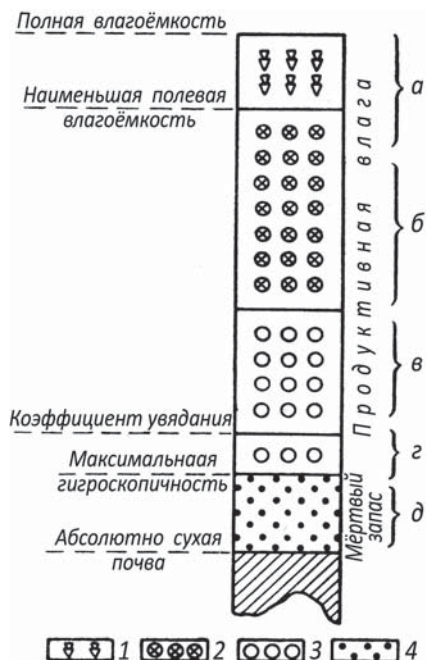


Рис. 12.19. Схема различных видов влаги в почве в зависимости от различной степени увлажнения почвы (по: Г.З. Венцкевичу):

- 1 – гравитационная вода; 2 – капиллярная вода легкоподвижная;  
3 – капиллярная вода слабоподвижная; 4 – связанная вода



С левой стороны схемы показаны пределы увлажнения, соответствующие тем или иным агрогидрологическим величинам. Справа показано, какая часть воды является для растений доступной и какая – недоступной; буквами *a*, *b*, *в*, *г*, *д* показана степень усвояемости растениями влаги при различном увлажнении почвы. Выделенный автором *мёртвый запас влаги* в современной специальной литературе не употребляется; применяется термин *недоступная влага*.

### Задание 3

1. Вычислить влажность почвы, если масса пробы до высушивания равна 25,4 г, после высушивания – 20,8 г (ответ – 22,1 %).

2. Масса сухой пробы равна 20,4 г, влажность почвы 28 %. Определить массу влажной навески, взятой для определения влажности (ответ – 26,1 г.).

3. Вычислить содержание влаги в суглинистой почве в слое 0–50 см, если объёмная масса сухой почвы 1,43 г/см<sup>3</sup>, влажность 25 % (ответ – 178,7 мм).

4. Определить влажность почвенной пробы, если масса пробы со стаканчиком составляет 55,8 г, после высушивания масса пробы без стаканчика – 21,4 г, масса стаканчика 30,4 г (ответ – 18,7 %).

5. В суглинистой почве в слое 0–100 см запасы продуктивной влаги составляют 200 мм. Определить влажность почвы в процентах, если объёмная масса сухого суглинка равна 1,40 г/см<sup>3</sup> (ответ – 14,3 %).

6. Вычислить запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см, если объёмная масса сухой почвы 1,28 г/см<sup>3</sup>, влажность почвы – 30 % абсолютно сухой почвы. Влажность устойчивого завядания равна 8 % (ответ – 56 мм).

7. Вычислить коэффициент завядания для слоя 0–20 см, если объёмная масса почвы равна 1,1 г/см<sup>3</sup>, влажность почвы 32 %, запасы продуктивной влаги в этом слое составили 44 мм (ответ – 12 %).

8. Вычислить влажность почвы (в процентах) в слое 0–40 см, если коэффициент завядания равен 11,5 %, объёмная масса почвы – 1,2 г/см<sup>3</sup>, запасы продуктивной влаги – 84 мм (ответ – 29 %).

9. Определить общие запасы продуктивной влаги в слое 0–40 см, если коэффициент завядания для этих слоёв равен 9 %, объёмная масса сухой почвы равна 1,15 г/см<sup>3</sup>, влажность почвы слоя 0–20 см 30 %, слоя 20–40 см – 25 % (ответ – 85 мм).

## 12.5. Измерение глубины весеннего промачивания почвы на сельскохозяйственных полях

Одним из доступных и оперативных способов оценки влажности почвы является измерение глубины промачивания почвы весной на сельскохозяйственных полях. В районах недостаточного увлажнения почвы один раз весной при наступлении мягкопластичного состояния почвы производят измерения глубины её промачивания в слое почвы 0–150 см. Для этого используют бур почвенный АМ-26

и сантиметровую линейку. Измерение глубины (толщины) промоченного слоя почвы производят при взятии проб почвы для определения её влажности в четырёхкратной повторности. В более или менее однородных по механическому составу слоях почвы граница промачивания проходит резко, и её отсчитывают по линейке, приложенной к пазу бурового стакана (предварительно зачистив почву с его краев), с точностью до 1–2 см. Сухим считается слой с твёрдым или сыпучим состоянием почвы. Нижнюю границу весеннего промачивания устанавливают визуально по изменению окраски почвы. Влажная почва по окраске темнее слабо увлажненного или сухого слоя, она легче бурится, поскольку всегда более пластична. При отсутствии чёткой границы между влажным и сухим слоем её отсчитывают с точностью до 3 см.

Результаты наблюдения записывают в табл. 131 Книжки КСХ-1м, сокращённый вариант которой приведён в табл. 12.7.

Таблица 12.7

**Глубина весеннего промачивания почвы на поле с озимой пшеницей**  
**Почва – дерново-подзолистая**

Дата	Номер наблюдательного участка	Значения измеренной глубины промачивания почвы, см				Средняя глубина
		Повторности				
		1	2	3	4	
10.05	4	141	137	148	130	139

**Контрольные вопросы**

1. Чем обусловлена необходимость изучения особенностей влажности почвы?
2. Дайте общее определение понятий *почвенная влага* и *водный режим почвы*.
3. Дайте определения и поясните понятия: *влага гравитационная*, *влага капиллярная*, *влага связанная*.
4. В какие сроки проводятся визуальные наблюдения и инструментальные измерения?
5. Как измеряется глубина весеннего промачивания почвы?
6. Разъясните понятия механический состав и структура почвы.
7. Как вы понимаете термин органолептический метод определения состояния почвы?
8. Расскажите о полевых и лабораторных работах по определению влажности почвы.
9. Какие количественные характеристики влажности почвы используются в агрономической практике?

10. Дайте определения понятия плотность почвы, назовите единицы измерения этого физического состояния почвы. Где используются данные о плотности почвы?

11. Поясните, что такое влажность устойчивого завядания? Как определяется эта величина? Как изменяется влажность устойчивого завядания? Почему измеряют влажность устойчивого завядания на злаковых и бобовых растениях?

12. Какими методами изучают влажность почвы на наблюдательных участках? Расскажите о методе определения влажности почвы. Напишите формулу, по которой проводят расчёты влажности почвы. Как называется этот метод?

13. Дайте определение термина *продуктивная влага*, каковы единицы её измерения. Напишите формулу для расчета величины продуктивной влаги в почве.

14. В чём основные различия в терминах между *влажностью почвы* и *запасами влаги в почве*?

15. Расскажите о визуальном методе оценки состояния поверхности почвы.

16. Расскажите обо всех видах почвенной влаги в зависимости от различной степени увлажнения почвы.

17. Как определяется глубина весеннего промачивания почвы?

18. Расскажите об агрогидрологических свойствах почвы (АГСП), их основных показателях и методах определения показателей.

## **Глава 13**

# **НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ И ОПАСНЫЕ ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА**

В холодный период года зимующие культуры подвергаются различным неблагоприятным и опасным условиям, которые вызывают частичную или полную гибель посевов, садов и виноградников. В разные годы в холодный период степень повреждения зимующих растений оказывается различной. Это объясняется интенсивностью и продолжительностью опасных явлений зимнего времени, биологическими особенностями высеваемых культур и сортов, условиями периода их закалывания, состоянием растений к началу периода прекращения осенней вегетации.

### **13.1. Основные причины повреждения и гибели зимующих зерновых культур и многолетних трав**

Основными причинами повреждения и гибели озимых культур в холодный период года являются:

- влияние сильных морозов при небольшой высоте или полном отсутствии на полях снежного покрова, вызывающее вымерзание растений;
- длительное пребывание растений под большим снежным покровом, образовавшимся на полях в начале зимы при слабом промерзании почвы, следствием которого становится выпревание;
- продолжительный застой талых вод на полях, частичное или полное затопление посевов в пониженных местах рельефа, вызывающее вымокание растений;
- образование притертой к почве ледяной корки, вызывающее механическое повреждение и удушье растений в посевах;
- неоднократное оттаивание и замерзание верхних слоев почвы в районах с неустойчивым характером зимы, приводящее к

механическому повреждению корней и выпиранию узлов кущения растений на поверхность почвы;

– выдувание и механическое повреждение растений пыльными бурями в бесснежные периоды;

– зимняя засуха, вызывающая сильное иссушение растений при длительном отсутствии на полях снежного покрова, отрицательной температуре воздуха и глубоком промерзании почвы.

Коротко рассмотрим перечисленные причины гибели озимых культур.

*Вымерзание растений* происходит в результате понижения температуры почвы на глубине узла кущения до пределов, равных и ниже «критической температуры» вымерзания, присущих каждому виду и сорту возделываемой культуры. Агрометеорологические условия, при которых озимые посевы вымерзают, чаще создаются в первой половине зимы до образования на полях снежного покрова, достаточного для сохранения растений от морозов. Во второй половине зимы вымерзание озимых культур наблюдается обычно в некоторые годы с неустойчивым снежным покровом в отдельных районах зерносеяния. Вымерзание растений внешне характеризуется изменением тургора клеток, побурением и отмиранием тканей. Основным агрометеорологическим показателем условий вымерзания озимых культур является минимальная температура почвы на глубине залегания узла кущения растений. Понижение температуры на глубине узла кущения зерновых и головки бобовых культур до критических значений в течение одних суток, особенно после оттепели, приводит к частичному или полному изреживанию посева, а более длительное (трое суток и более) в сочетании с дальнейшим понижением температуры – к полной гибели растений.

*Выпревание* растений озимых культур происходит обычно в условиях мягкой зимы с мощным снежным покровом и неглубоким промерзанием почвы при температуре, близкой к нулю. В этих условиях растения, испытывающие (под большим слоем снега) также недостаток освещённости, усиленно расходуют накопленные в растении запасы питательных веществ (сахаров и даже белков) на дыхание, истощаются и легко повреждаются грибом, – снежной плесенью, – вызывающим их гибель. При благоприятных условиях для развития мицелия грибов (температура под снегом около 0 °С и выше влажность воздуха около 90 %) гибель растений наступает в течение нескольких суток. Установлено, что большинство растений погибают при продолжительности периода голодания не

менее 30–40 суток в условиях длительного периода снеготаяния. В годы с быстрым сходом снежного покрова и установлением благоприятных условий для вегетации озимые посевы, поражённые снежной плесенью, получают возможность частичного или полного восстановления. Выпревание – длительный процесс, гибель озимых наблюдается, если неблагоприятные условия сохраняются не менее чем в течение 80–100 суток. Выпреванию озимых культур часто сопутствует вымокание растений.

*Вымокание* растений озимых культур наиболее часто происходит на тяжёлых суглинистых почвах в результате затопления их талыми водами весной. Затопленные растения попадают в условия, при которых у них нарушаются процессы дыхания и фотосинтеза. Накопление воды в микропонижениях рельефа полей обычно связано с началом снеготаяния, наблюдаемое при средней суточной температуре воздуха выше 0 °С. Наиболее сильное вымокание озимых отмечается в годы с переувлажнённой почвой осенью и выпадением большого количества осадков зимой, при глубоком промерзании почвы и позднем ее оттаивании весной. Вымокание озимых в такие годы отмечают на больших площадях. При неглубоком промерзании почвы после длительного залегания на полях мощного снежного покрова растения уже до начала затопления талыми водами оказываются истощёнными в результате выпревания. Ослабленные растения, подвергшиеся вымоканию, погибают даже в течение короткого периода затопления. В этих случаях причиной гибели озимых культур следует считать не только вымокание, но и выпревание. Вымокание растений заканчивается при полном оттаивании почвы, при котором вода проникает в нижние слои почвы.

*Ледяная корка.* Различают две основных формы ледяной корки: *висячая* – в виде ледяных прослоек в снежном покрове и *при-тёртая корка*, представляющая собой единый монолит с верхним промёрзшим слоем почвы. Эти виды корки образуются при интенсивных и частых оттепелях, сильном переувлажнении почвы, когда в отрицательных формах рельефа полей происходит накопление воды, которая при низких температурах воздуха замерзает. Гибель растений связана не только с механическими повреждениями ледяной коркой, но главное – с их удушьем и отравлением вследствие нарушения газообмена (недостаток кислорода и избыток накапливающегося углекислого газа). Растения погибают, если продолжительность залегания ледяной корки составляет более трёх декад подряд. При толщине ледяной корки 4–5 см изреженность растений достигает 50 %.

*Выпирание* посевов озимых культур происходит в результате неоднократного оттаивания и замерзания верхнего слоя почвы. При значительном переувлажнении верхнего слоя почвы, особенно при интенсивных оттепелях зимой, сопровождающихся дождями и резкими похолоданиями, в нём образуются ледяные прослойки. При замерзании вода расширяется и приподнимает верхний слой почвы вместе с неглубокими корнями злаков. При более высокой дневной температуре воздуха или наступлении следующей оттепели (или весной) почва оттаивает и оседает, а узел кущения и часть корневой системы растений остаются над её поверхностью (выпирание). В дальнейшем такие растения вымерзают или подсыхают, обезвоживаются и погибают вследствие резких колебаний температуры весной.

На переувлажнённых, поздно вспаханных тяжёлых, бесструктурных почвах и в тех случаях, когда допускается большой временной интервал между обработкой почвы и севом озимых, не предусмотренный агрономическими правилами, наблюдается интенсивное повреждение растения в результате выпирания. Растения, имеющие только один вертикальный зародышевый корешок или небольшие придаточные корни, в результате их разрыва при оседании почвы погибают. Хорошо раскустившиеся озимые, имеющие большое количество горизонтально расположенных в почве корней, реже подвергаются выпиранию.

*Выдувание* озимых культур происходит в условиях малоснежной зимы под влиянием сильных ветров. Наиболее подвержены ветрам узлы кущения озимых посевов. А при больших скоростях ветра (15 м/с и более) надземные части растений озимых посевов получают значительные механические повреждения от несущихся частичек почвы. Посевы с растениями, слабо укоренившимися с осени, а также растущие на бесструктурной почве, обычно больше подвержены выдуванию.

*Заносы посевов почвой*, поднятой сильными ветрами в холодный период года, отмечаются при отсутствии снежного покрова. Погребённые мелкими сухими частицами почвы посевы погибают от удушья и полного отсутствия света и влаги.

*Зимняя засуха.* Зимой и ранней весной при отсутствии на полях снежного покрова и замерзшей почве озимые культуры попадают в условия недостатка влаги. Повышение температуры воздуха днем до 0 °С и более и возрастающей интенсивности солнечной радиации в ясные дни создается большой градиент температуры в наземных и подземных частях растений. Это приводит к



усиленному испарению воды листьями и высыханию их, поскольку влага из мерзлой почвы не поступает в корневые системы растений. В результате обезвоживания листьев повышается концентрация клеточного сока, при этом сильное пересыхание тканей приводит к коагуляции белков в клетках с последующим высыханием надземных органов и узлов кущения, в результате чего растения погибают. Особенно подвержены губительному влиянию зимней засухи слаборазвитые озимые с небольшой корневой системой, не достигающей талых слоёв почвы. Зимняя засуха часто сопутствует выпиранию и выдуванию озимых культур.

### **13.2. Неблагоприятные и опасные условия перезимовки плодовых культур и виноградников**

Независимо от возраста все многолетние плодово-ягодные культуры имеют ежегодно повторяющийся цикл развития, вегетации и покоя. После завершения периода формирования урожая и его сбора благоприятной для подготовки растений к зиме является тёплая и умеренно влажная погода с постепенным снижением дневных и ночных температур воздуха. Такие условия способствуют физиолого-биохимической перестройке в клетках растений, накоплению в тканях пластических веществ и вызреванию древесины. Чем более зрелой является древесина молодых побегов, тем более низкую температуру может выдерживать плодовая культура в зимний период. Плодовые культуры проходят два этапа закаливания перед уходом в зиму. Первый – при температуре от +6 до 0 °С (это период до листопада), когда крахмал трансформируется в сахара. Второй этап протекает при температуре воздуха от 0 до -12 °С, когда происходит обезвоживание тканей и клеток, дальнейшее накопление сахаров и переход растений в состояние глубокого покоя, необходимого для устойчивости к морозам. Основными факторами, вызывающими повреждения плодовых и ягодных культур в зимний период, являются:

- сильные морозы, когда температура опускается ниже критических значений, что вызывает повреждения надземной части дерева;
- низкие температуры почвы и глубокое её промерзание, следствием которого становится повреждение корневой системы;
- резкие колебания температуры воздуха (особенно частые оттепели, чередующиеся с похолоданиями);
- солнечные ожоги на коре стволов и скелетных ветвей деревьев и кустарников в поздний весенний период.

Известно, что степень и характер повреждений плодовых культур морозами зависит от многих факторов:

- местоположения насаждений (пониженные или возвышенные части рельефа, направление рядов посадки, наличие и расположение садозащитных полос);
- биологических особенностей сорта (его генотип, определяющий экологическую устойчивость);
- физиологического состояния растений (нагрузка плодами в прошедшем вегетационном периоде, продуктивность фотосинтетической деятельности листа, обеспеченность ассимилятами за прошедший вегетационный период);
- условий возделывания культуры (сроков уборки плодов и сроков наступления у растений состояния глубокого покоя);
- возраста деревьев и комплекса сложившихся агрометеорологических условий лета, осени и зимы.

*Сильные морозы.* Наиболее высокая зимостойкость характерна для плодовых культур в самые холодные месяцы (декабрь – февраль). Уровень критических температур, повреждающих плодово-ягодные культуры, неодинаков для различных пород и сортов, поскольку он определяется биологическими свойствами культуры, степени их акклиматизации к району возделывания и агроклиматическими (средними многолетними) условиями территории (табл. 13.1).

Таблица 13.1

**Критические температуры (0 °С) основных плодово-ягодных культур для зимнего периода в Нечерноземной зоне России**

Культура	Критическая температура воздуха, 0 °С			Температура почвы (корневая система)
	Кроны	Ростовые почки	Цветочные почки	
Яблоня (среднерусские сорта)	-30...-40	-40	-35...-40	-10...-15
Груша	-25...-30	-30...-35	-25...-40	-8...-10
Вишня	-30...-35	-25...-30	-25...-30	-10...-15
Слива	-30	-25...-30	-25...-30	-8...-10
Земляника	-17...-19	-18...-19 (листья)	-17...-19 (побеги)	-17...-18
Смородина	–	–	–	-17...-18

К наиболее распространённым типам зимних повреждений относятся повреждения коры, камбия и древесины у побегов, ветвей и ствола. Достаточно часто повреждаются плодовые почки, особенно у косточковых культур. Их устойчивость зависит от времени закладки и степени их дифференциации на клеточном уровне. На мощных хорошо развитых молодых ветвях плодовые почки более устойчивы. Установлено, что надземная часть морозоустойчивых сортов яблони при благоприятных условиях предзимней подготовки может перенести без серьёзных повреждений  $-40...-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , плодовые почки выдерживают до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а корневая система повреждается при  $-10...-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 13.1).



Рис. 13.1. Камедетечение, вызванное ослаблением дерева, повреждённого сильными морозами

*Морозобоины или солнечные ожоги.* Самыми опасными зимними повреждениями надземной части плодовых деревьев являются морозобоины (солнечные ожоги) стволов и скелетных ветвей, что снижает их зимостойкость. В солнечные морозные дни кора стволов и ветвей, обращённых к солнцу, нагревается сильнее, чем их затенённые части (табл. 13.2).

Таблица 13.2

**Температура поверхности коры ствола и крупных ветвей  
в зависимости от толщины ствола яблони  
и освещённости лучами Солнца**

Кора стволов и крупных ветвей	Диаметр ствола, см						
	0,5	1,1	2,7	10,2	16,8	22,0	27,0
На солнечной стороне	-0,6	6,2	13,5	23,0	27,7	29,8	31,2
На теневой стороне	-1,3	-0,8	-1,5	-1,1	-1,5	-2,0	-2,0

В тёмное время суток кора охлаждается. При этом наружные ткани охлаждаются быстрее, чем глубокие слои. Разница в натяжении тканей приводит к их вертикальному разрыву. При очень сильных морозах такой разрыв сопровождается звуковым эффектом, называемым кавитацией<sup>1</sup>. В результате на коре образуются

<sup>1</sup> Кавитация – от латинского слова *cavitas* – углубление, полость.

продольные глубокие борозды, их называют *морозобоинами*. Кора отстает вдоль них от древесины, «рана» расширяется. Иногда трещины достигают длины 30 см. Незалеченный дефект коры оказывается «мишенью» для морозов следующей зимой. Морозобоины появляются на стволе и скелетных ветвях чаще с их южной и юго-западной стороны. Под воздействием солнца освещённые части коры усиливают транспирацию. По величине зимнего расхода влаги на испарение ягодные кустарники (смородина, крыжовник) и малина транспирируют влаги в 3–4 раза больше, чем яблоня. Клетки камбия на освещённых и более нагреваемых солнцем сторонах стволов пробуждаются и начинают деление. Однако ночное понижение температуры обычно вызывает гибель таких клеток. Вышедшая из разорвавшихся клеток влага формирует кристаллы, благодаря которым образуются микротрещины. На коре появляются пятна омертвевшей ткани разных очертаний, размера и цвета: тёмно-бурого, белёсого, красноватого. Они шелушатся и растрескиваются (рис. 13.2).

У плодовых культур северного происхождения потеря влаги в зимний период составляет не более 3–5 %, у южных она превышает 10–15 %. От зимних солнечных ожогов страдают практически все породы плодовых деревьев в основных районах их возделывания (рис. 13.3).

Для предохранения плодовых культур от солнечных ожогов стволы обвязывают различными материалами, а также проводят побелку известковыми, меловыми составами или водоэмульсионными красками. Амплитуда температуры поверхности побелённых стволов оставляет около 2 °С, тогда как у непобелённых достигает 5–10 °С.



Рис. 13.2. Сильные морозобоины на стволе яблони, вызвавшие отмирание коры и части древесины



Рис. 13.3. Зимние солнечные ожоги вызывают растрескивания коры, куда легко проникают вредители и болезнетворные микробы

Для оценки условий перезимовки плодовых культур Г. Г. Белобородовой был предложен коэффициент суровости зимы:

$$K = N/n, \quad (13.1)$$

где  $N$  – число суток с минимальной температурой воздуха, вызывающей повреждения плодовых культур за период зимовки;  $n$  – продолжительность всего холодного периода, сутки.

Коэффициент суровости зимы характеризует «насыщенность» холодного периода критическими температурами для плодовых культур. Чем больше значение  $K$ , тем хуже условия перезимовки. Установлено, что осенне-зимние и зимние сорта яблони в большинстве случаев хорошо переносят зимы: при  $K < 0,07$  – слабоморозостойкие сорта;  $K < 0,05$  – среднеморозостойкие и  $K < 0,03$  – сорта повышенной морозостойкости.

#### *Задание*

Выполните расчёты коэффициента суровости  $K$  для сортов яблони, различных по морозостойкости, произрастающих на территории конкретной области, если продолжительность холодного периода составила  $n$  суток (в течение ноября – февраля), при этом наблюдательной сетью было отмечено следующее число суток  $N = 1, 2, 3, 4$  и  $5$  с морозами от  $-20$  до  $-25$  °С.

*Примечание.* Познакомьтесь подробнее с монографией Г.Г. Белобородовой «Агрометеорологические основы повышения продуктивности плодоводства». Глава 3. Перезимовка плодовых культур и учёт метеорологических условий. Районирование территории. Л.: Гидрометеиздат. 1982. С. 61 – 81.

### **13.3. Наблюдения за температурой, глубиной промерзания и оттаиванием почвы, за снежным покровом на сельскохозяйственных полях и в садах**

Наблюдения за температурой, глубиной промерзания и оттаиванием почвы, за снежным покровом проводят на наблюдательных участках с озимыми посевами зерновых культур и многолетними травами. Такие наблюдения проводятся также в садах с плодово-ягодными культурами.

*Измерения температуры почвы* на полях с озимыми посевами производят на глубине 3 см, соответствующей средней глубине залегания узла кущения растений озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав. На наблюдательном участке в плодовом саду температуру почвы измеряют на глубинах 20 и 40 см. При отсутствии наблюдательных участков на посевах или в садах, где проводятся наблюдения за зимующими культурами,

допускается установка соответствующих приборов на метеорологической площадке. Аналогичные условия должны соблюдаться и при организации наблюдений за глубиной промерзания и оттаивания почвы. Весь комплекс этих измерений начинают проводить со дня наступления отрицательной средней суточной температуры воздуха осенью до возобновления вегетации зимующих полевых культур весной. В случае возврата холодов весной (при выпадении снега и понижения температуры воздуха до  $-10^{\circ}\text{C}$  и ниже) измерения продолжают с момента повторного устойчивого перехода температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  в сторону повышения. Измерения температуры проводят в последний день каждой пятидневки. При отсутствии снежного покрова или при снежном покрове до 5 см в дни, когда минимальная температура воздуха опускается ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ , а также при высоте снежного покрова от 6 до 20 см и при снижении температуры воздуха до  $-20^{\circ}\text{C}$  проводят дополнительные измерения температуры почвы. Измерения следует проводить в утренние часы. Для сопоставимости результатов измерений, выполненных на разных станциях и наблюдательных участках, отсчёты по приборам проводят в одно и то же время: с 8 до 9 ч.

*Средства измерений.* Для измерения максимальной, минимальной и срочной температуры почвы также на глубине 3 см применяют различные почвенные термометры: АМ-17, АМ-2, АМ-29, ТЭТ-2, ТЭТ-11Ц и УМКТ-1 (А), их описание и условия применения описаны в части 1, главе 4 настоящего «Практикума». Пример записи результатов измерения термометром АМ-17 приведён в табл. 13.3.

Таблица 13.3

**Срочная и экстремальная температура почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур**

Дата	Время наблюдений, ч, мин	Температура, $^{\circ}\text{C}$			Снежный покров		Примечание
		максимальная	минимальная	срочная	Высота, см	Характер залегания	
25.11	8.50	-0,2	-5,5	-5,0	9	Равномерный	
30.11	8.55	-3,2	-5,2	-3,2	12	–	
05.12	9.00	-3,2	-5,6	-5,3	14	–	
10.12	9.00	-3,3	-6.6	-5,0	17	Неравномерный	

Температуру почвы на разных глубинах (0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4; 3,2 м) измеряют комплектом вытяжных термометров, которые в последние годы заменяют на наблюдательной сети новым автоматическим почвенным термометром АМТ-5 (см. «Практикум», часть 1, глава 4).

*Измерение глубины и оттаивания почвы.* Глубина промерзания почвы считается одним из необходимых параметров при оценке агрометеорологических условий перезимовки озимых культур. На массовой сети метеорологических наблюдений глубина промерзания почвы измеряется мерзлотомером Данилина МД-50 (АМ-21-1), описания которого приведены в «Практикуме» (часть 1, глава 4), а также в Наставлении (вып. 11, часть 1, книга 2), Приложение 35. Глубина промерзания зависит от многих факторов: температуры воздуха, состояния почвы – типа и механического состава, уровня ее засоления, увлажнения, характера и плотности растительного покрова и др.

Известна зависимость глубины промерзания почвы от снежного покрова:

- от его высоты (чем больше высота, тем меньше глубина промерзания почвы);
- от сроков установления постоянного снежного покрова (чем позже выпадает снег и чем меньше его высота, тем больше глубина промерзания);
- от продолжительности периода залегания (в тех районах, где снег лежит в течение всей зимы, почва промерзает на меньшую глубину);
- от равномерности залегания снежного покрова (там, где снежный покров лежит равномерно на всей площади, глубина промерзания почвы меньше, чем в тех местах, где он сдувается сильными ветрами, оголяющих почву);
- от плотности снега (чем рыхлее снег, тем теплопроводность его меньше и тем меньше глубина промерзания почвы).

Глубина промерзания почвы зависит также от температуры воздуха, от наличия и плотности растительного покрова, хорошо задерживающего снег, сохраняющего его в рыхлом состоянии, что способствует повышению увлажнения верхних слоев почвы. В результате под растительным покровом почва промерзает на меньшую глубину, чем оголённая. Существенное влияние на глубину промерзания оказывают тип почвы и ее механический состав. Различия в глубине промерзания между песчаными и суглинистыми почвами составляют в среднем 50 см, между суглинистыми и



глинистыми – 8 см. Глубина промерзания почвы зависит и от влажности почвы: чем влажнее почва, тем меньше при одинаковых температурах воздуха глубина ее промерзания, поскольку при замерзании влажная почва выделяет определенное количество тепла за счет скрытой теплоты льдообразования. Установлено, что влажные почвы (при массовой влажности больше 25 %) промерзают на 25 % меньше, чем относительно сухие почвы. Почвы с преобладанием в механическом составе крупных фракций вследствие своей малой влагоёмкости промерзают на 33 % глубже, чем глинистые и суглинистые. Определённое влияние на промерзание почвы оказывают рельеф местности и экспозиции склонов. Повышенные формы рельефа промерзают, как правило, глубже, чем пониженные. В пониженных формах рельефа почва более влажная, кроме того, в них накапливается больше снега. Масштабная хозяйственная деятельность человека – осушение болот, вырубка лесов и т. п. мероприятия также влияют на повышение глубины промерзания почвы.

Для определения глубины промерзания и оттаивания почвы резиновую трубку мерзлотомера, закрепленную к штанге (шнур), вынимают из защитной трубы за кольцо колпачка и прощупывают весь столбик льда, образовавшегося в ней. Нельзя допускать перегибов резиновой трубки при её извлечении или опускании в защитную трубу, поскольку при отрицательных температурах трубка становится хрупкой и ломкой. Глубина нижней границы льда в трубке принимается за нижнюю границу промерзания почвы. При чередовании морозной погоды с оттепелями в резиновой трубке могут быть талые прослойки. Запись отсчётов по мерзлотомеру производят в таблице 13.4.

Таблица 13.4

Дата	Средняя глубина, см		Средняя высота снега, см	Глубина, см				Высота снежного покрова, см		Примечания
	промерзания	оттаивания		промерзания		оттаивания		1-й	2-й	
				1-й	2-й	1-й	2-й			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25.11	15	5	10	15	14	4	6	10	9	
30.11	19		12	19	18			12	11	
05.12	23		14	24	23			14	13	
10.12	32	9.11–18	17	31	33	7.9–15	11.13–21	17	16	

В таблице указывают высоту снежного покрова по шкале на наружной стенке мерзлотомера или по снегомерной рейке; глубину промерзания почвы – по нижней границе замёрзшего столбика воды, глубину оттаивания почвы (от её поверхности) – по верхней границе замерзшего столбика.

*Пример*

При измерении промерзания воды на посевах озимой пшеницы 10 декабря на первой повторности оказалось: в верхней части резиновой трубки до глубины 7 см находится вода, от 7 до 9 см – прослойка льда; от 9 до 15 см – вода; от 15 до 31 см – лёд, а ниже – опять вода. В графе 7 таблицы 13.4 записывают 7.9–15. Это означает, что в слоях 0–7 и 9–15 почва талая. Аналогичная запись сделана в графе 8. Затем рассчитывают среднее значение глубины талого слоя от поверхности почвы  $(7 + 11) : 2 = 9$  и верхней и нижней границы талой прослойки  $(9 + 13) : 2 = 11$  см и  $(15 + 21) : 2 = 18$  см, которые и записывают в графу 3 этой таблицы.

Сведения о зависимости глубины промерзания почвы от различных природных условий необходимо использовать для правильного выбора наблюдательных участков и мест установки мерзлотомера. Место установки мерзлотомера должно быть репрезентативным для большинства полей с посевами зимующих культур в окрестностях станции (поста). Наблюдения на наблюдательном участке проводятся в двукратной повторности, а на метеорологической площадке – в однократной.

*Снегомерные съёмки на сельскохозяйственных полях.* Как было отмечено, снежный покров влияет на уровни температуры, влажности и глубины промерзания почвы, которые, в известной мере, определяют состояние растений и их потенциальную продуктивность. Снегомерные съёмки на полях с озимыми зерновыми культурами, многолетними травами, в садах и на язби проводят на метеорологических станциях и постах с целью получения информации об условиях перезимовки зимующих культур и динамики накопления влаги в почве к весне. Для этих снегосъёмок применяют снегомерную переносную рейку М-104 (далее – рейка) и походный весовой снегомер ВС-43 (далее – снегомер). Для измерений высоты снежного покрова на метеорологической площадке применяют стационарную снегомерную рейку М-103. Эти средства измерения описаны в «Практикуме» (часть I, глава 8). Снегомерные съёмки на полях озимых зерновых культур и многолетних трав проводят на маршруте протяженностью 1000 м, при этом часть маршрута должна проходить через наблюдательный участок. Во

время снегомерных съёмов измеряют высоту и плотность снежного покрова, толщину притёртой ледяной корки и степень её распространения. Кроме этого, визуально отмечают:

- состояние поверхности почвы под снегом (талая, мёрзлая);
- характер залегания и структуру снега;
- наличие снежной корки на поверхности и внутри снежного покрова.

По данным снегомерных съёмов рассчитывают запасы воды в снежном покрове. Снегомерные съёмки должны проводиться регулярно в течение периода залегания снежного покрова при степени покрытия поверхности в окрестностях станции (поста) не менее 6 баллов. На озимых посевах и многолетних травах снегосъёмки проводятся 10-го, 20-го числа и в последний день каждого месяца (в декабре – 30-го числа). Если поле с зимующей сельскохозяйственной культурой покрыто ледяной коркой, а снега нет, то глазомерно определяют степень покрытия поля ледяной коркой и измеряют её толщину в 10 точках на маршруте, стараясь отобразить всё разнообразие её залегания на поле.

В плодовом саду при снежном покрове высотой до 20 см снегосъёмки проводятся еженедельно – в предпоследний день декады, а после установления снежного покрова высотой более 20 см (по измерениям под кроной) – один раз по девятым числам каждого зимнего месяца: 9, 19, 29. Высота снежного покрова измеряется через каждые 10 м. При высоте снежного покрова до 5 см плотность снега не определяется. С целью определения запаса воды в снежном покрове и получения информации об условиях перезимовки зимующих растений, кроме плотности снега, измеряют толщину притёртой ледяной корки, слой снега, насыщенного водой, и слой воды. Первую точку определения плотности снежного покрова выбирают на расстоянии 40 или 60 м от начала маршрута, последующие точки – через каждые 100 м. В точке определения плотности снега берут пробу снега снегомером, измеряют толщину притёртой ледяной корки (с точностью до 1 мм), слоя снега, насыщенного водой (с точностью до 1 см), слоя талой воды (с точностью до 1 см), а также оценивают состояние почвы под снежным покровом (мёрзлая или талая). Пример заполнения книжки КСХ-2м приводится в таблице 13.5.

Таблица 13.5.

**Плотность снега, толщина ледяной корки, слоя снега, насыщенного водой, и талой воды на маршруте снегосъёмки**

Номер определения	Отсчёт по шкале цилиндра ( $h_c$ ), см	Отсчёт по линейке весов ( $m$ )	Плотность снега ( $\rho_c$ ), г/см <sup>3</sup>	Состояние поверхности почвы	Вид ледяной корки	Толщина		
						притёртой ледяной корки ( $h_c$ ), мм	слоя снега, насыщенного водой ( $Z_{сн.в}$ ), см	слоя талой воды ( $Z_{т.в}$ ), см
1	18	34	0,19	Мёрзлая	Притёртая ледяная	10	5	
2	24	56	0,23	То же		10		1
3	23	51	0,22	– " –			7	3
4	21	42	0,20	– " –			4	2
5	35	80	0,23	– " –	Притёртая ледяная	13		
6	30	63	0,21	– " –		11		
7	17	36	0,21	– " –	То же	7	8	4
8	32	70	0,22	– " –	– " –	10		
9	37	92	0,25	– " –			7	
10	30	63	0,21	– " –	– " –	8		
Суммарное значение			2,17			59	31	10
Среднее из количества фактических измерений			0,22	Мёрзлая	Притёртая ледяная корка	10	6	3

После прохождения всего маршрута указываются характер залегания снежного покрова на маршруте (равномерный – без сугробов, неравномерный – небольшие сугробы, очень неравномерный – большие сугробы) и структура снега: свежий снег пылевидный; свежий снег пушистый; свежий снег липкий; старый снег рассыпчатый; старый снег плотный; старый снег влажный; снежная корка, не связанная со снегом под ней; плотный снег с коркой на поверхности; влажный снег с коркой на поверхности; переувлажнённый или мокрый снег. По результатам измерений и наблюдений на снегомерном маршруте вычисляются средние значения высоты снежного покрова. Пример заполнения книжки КСХ-2М при проведении снегосъёмки на полях озимых культур и многолетних трав в таблице 13.6.

Таблица 13.6

**Высота, структура и характер залегания снежного покрова на маршруте снегосъёмки (дата 10.03)**

Номер точки измерения	Высота снежного покрова, см, в точке измерения										Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
00	23	33	35	28	30	41	<b>21</b>	31	36	26	304
10	35	30	33	32	28	34	28	33	32	28	313
20	33	37	45	27	34	29	25	29	35	31	325
30	27	30	40	43	34	26	31	34	24	46	335
40	35	31	34	<b>49</b>	33	28	36	30	27	36	339
50	30	32	29	38	30	32	28	34	33	46	332
60	29	25	27	35	38	46	35	29	28	36	328
70	32	38	29	32	28	38	32	36	26	34	325
80	44	37	34	33	36	25	35	40	31	36	351
90	30	38	29	33	37	27	39	33	36	24	326
Сумма	318	331	335	350	328	326	310	329	308	343	<b>3278</b>

*Примечания*

1. Средняя высота снежного покрова на маршруте  $h_c$  (без учёта толщины ледяной корки) вычисляется как частное от деления суммы всех высот в точках измерения на 100:  $3278 : 100 = 33$  см.

2. Наибольшая высота снежного покрова  $h_{сб}$  **49** см (жирная цифра в таблице, курсив).

3. Наименьшая высота снежного покрова  $h_{см}$  **21** см (жирная цифра в таблице, курсив).

4. Характер залегания снежного покрова (словами – *равномерный*)

5. Структура снега (словами – *старый снег, плотный*)

6. Проведённые на поле сельскохозяйственные работы, например *снегозадержание (дата), уплотнение снега (дата)* и т. п.

По результатам измерения высоты снежного покрова с учётом средней толщины притёртой ледяной корки, средней толщины ледяной корки, слоя снега, насыщенного водой, и слоя талой воды, запаса воды в снежном покрове вычисляются их средние значения. Выбираются наибольшие и наименьшие значения высоты снежного покрова и максимальной толщины ледяной корки; определяется степень покрытия маршрута снежным покровом и притёртой ледяной коркой. Пример записи результатов измерений приведён в таблице 13.7.

Таблица 13.7

Результаты снегосъёмки на поле

Дата	Высота снежного покрова с учётом средней толщины притёртой ледяной корки (h), см			Максимальная толщина притёртой ледяной корки (z <sub>кк</sub> )	Средняя толщина из 10 измерений			Запас воды, мм					Степень покрытия, балл	
	Средняя (h)	максимальная (h <sub>г</sub> )	минимальная (h <sub>м</sub> )		ледяной корки z <sub>лс</sub> , мм	слоя снега, насыщенного водой (z <sub>св</sub> ), см	слоя талой воды (z <sub>тв</sub> ), см	в снеге (Q <sub>с</sub> )	в ледяной корке (Q <sub>к</sub> )	в снеге, насыщенном водой (Q <sub>св</sub> )	в слое талой воды (Q <sub>тв</sub> )	общий (Q)	снежным покровом	притёртой ледяной коркой
28.02	13	20	4	4			58,0	3,2			61,2	10	4	
10.03	34	50	22	6	3	1	72,6	4,8	24,0	10,0	111,4	10	6	
20.03	31	42	18	7	4	2	69,0	5,6	32,6	20,0	127,2	8	6	

Плотность снега  $g_c$  в каждой точке определения вычисляют делением массы пробы снега на её объём. Так как каждое деление линейки весов соответствует 5 г, масса пробы снега равна 5 м. Объём пробы снега равен произведению площади поперечного сечения цилиндра снегомера (50 см<sup>2</sup>) на высоту взятой пробы  $h_c$ , т. е. 50  $h_c$  (см<sup>3</sup>).

Исходя из этого плотность снега (г/см<sup>3</sup>) вычисляют по формуле

$$g_c = 5 m / 50 h_c = m / 10 h_c. \quad (13.2)$$

#### Пример

При измерении первой пробы снега (от поверхности снежного покрова до снежной корки внутри него) получены значения  $h_{c1} = 41$  см,  $m_1 = 96$ ; второй пробы (от снежной корки до поверхности притертой к почве ледяной корки) –  $h_{c2} = 28$  см,  $m_2 = 59$ . Плотность снега вычисляют по значениям  $h_c = h_{c1} + h_{c2} = 41 + 28 = 69$  см и  $m = m_1 + m_2 = 96 + 59 = 155$ , т. е. плотность снега в этой точке равна

$$g_c = m_1 + m_2 / 10(h_{c1} + h_{c2}) = 155 / 690 = 0,22 \text{ г/см}^3. \quad (13.3)$$

Маршрут снегомерной съёмки в плодовом саду выбирается в средней части сада. Для этого в пяти рядах деревьев отмечается по 10 деревьев в каждом ряду. Длина маршрута будет зависеть от расстояния между деревьями. Высота снежного покрова в саду измеряется в 100 точках, из них 50 измерений делаются под кроной деревьев и 50 в междурядьях. Измерения проводятся напротив каждого ствола. При этом пять измерений плотности снега делается «под кроной» и пять «между рядами». Обработка результатов наблюдений осуществляется отдельно под кроной и между рядами, а число измерений с различной высотой снежного покрова и толщиной ледяной корки подсчитывается по всему массиву данных, без разделения точек измерений «под кроной» и «между рядами» (табл. 13.8).



Таблица 13.8

Пример заполнения книжки КСХ-2М по результатам снеговсѐмки в саду

Дата	Высота снежного покрова с учётом средней толщины притѐртой ледяной корки ( $h$ ), см			Средняя из 10 измерений толщина притѐртой ледяной корки ( $z_{\text{ко}}$ ), мм			Запас воды, мм					Степень покрытия, балл		
	средняя	под кроной	между рядами	под кроной	между рядами	в снеге ( $Q_c$ )	в ледяной корке ( $Q_k$ )	в снеге, насыщенном водой ( $Q_{\text{св}}$ )	в слое талой воды ( $Q_d$ )	общий ( $Q$ )	снегом	притѐртой ледяной коркой		
19.02	13	13	12	4	5	4	27,6	3,2				30,8	10	7
20.02	15	16	14	7	7	6	30,2	3,4				33,6	10	7
09.03	17	17	16	7	7	6	31,4	3,7				35,1	10	7

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные причины повреждений и гибели озимых посевов зерновых культур и многолетних трав. Приведите примеры.
2. Каковы причины повреждений плодовых культур? Как различаются плодовые культуры по отношению к морозам, перечислите критические температуры зимнего периода для основных видов плодовых культур.
3. Как рассчитывают коэффициент суровости зимы ( $K$ )? Приведите примеры, сделайте расчеты по заданию преподавателя.
4. Перечислите средства измерения, которые применяются при определении максимальных, минимальных и срочных температур на глубине залегания узла кущения озимых посевов и корневой головки многолетних трав.
5. Какие средства измерения используют для определения температуры почвы на более глубоких уровнях почвенного покрова?
6. В какие сроки производятся измерения температуры почвы на наблюдательных участках?
7. Для каких целей проводятся снегосъёмки?
8. Опишите устройство мерзлотомера и правила работы с ним.
9. Расскажите о роли снежного покрова для зимующих посевов и плодовых культур.
10. Как измеряют глубину промерзания и оттаивания почвы?
11. Почему снегосъёмки снежного покрова проводят отдельно – на посевах озимых культур и в садах?
12. Выполните расчёт плотности снега. В какие сроки и для каких целей проводят измерения снежного покрова? Приведите примеры.
13. Как проводятся маршрутные снегомерные съёмки на поле с озимой зерновой культурой?
14. Каковы особенности проведения снегомерных съёмок на поле с посевами озимых культур и в плодовом саду?
15. От каких внешних условий зависит глубина промерзания почвы?
16. Приведите примеры зависимости глубины промерзания почвы: от рельефа местности, наличия растительного покрова, состояния снежного покрова или его отсутствия.
17. Как рассчитываются запасы воды в снежном покрове?
18. Где используются результаты определения запасов воды в снежном покрове на больших площадях и на отдельных полях?

## **Глава 14**

# **МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА**

Наблюдения за состоянием зимующих сельскохозяйственных культур в поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды включают четыре вида работ:

- осеннее и весеннее обследование состояния посевов;
- определение жизнеспособности озимых зерновых культур и многолетних трав в зимний период;
- определение жизнеспособности побегов плодовых культур зимой;
- весеннее обследование состояния плодово-ягодных культур и винограда.

### **14.1. Осеннее и весеннее обследование состояния посевов озимых зерновых культур и многолетних трав**

Основной целью осеннего обследования состояния зимующих культур является получение информации для оценки видов на урожай или прогноза состояния посевов на ближайшую или отдаленную перспективу. По данным о средних областных значениях густоты стояния растений во время осеннего прекращения вегетации определяют площадь (в процентах), на которой посевы находятся в плохом предзимнем состоянии. Слаборазвитые и переросшие посевы сильнее повреждаются при зимних неблагоприятных условиях. Критическая температура вымерзания слаборазвитых посевов на 1–3 °С выше температуры вымерзания нормально развитых растений. Слаборазвитые посевы с кустистостью менее двух побегов вследствие малой высоты растений и небольших запасов питательных веществ в большей степени подвержены

вымоканию, быстрее погибают под притёртой к почве ледяной коркой. Отсутствие вторичных корней у нераскутившихся растений приводит к более сильному выпиранию растений и повреждению посевов пыльными бурями. Переросшие посевы (более 5 боковых побегов, высота более 25 см), имеющие большую растительную массу, загущенный стеблестой, сильнее, чем нормально развитые посевы, подвержены выпреванию и повреждению вирусными и грибковыми заболеваниями в ранневесенний период.

*Осеннее обследование* посевов озимых зерновых культур (рожь, пшеница, тритикале, ячмень) и озимого рапса проводится в конце осени после того, как в течение 5 суток подряд средняя суточная температура воздуха оказывается ниже 5 °С (3 °С). В южных районах в годы с поздним переходом температуры воздуха через 3 °С обследование проводят 10 ноября. В случае возврата тепла на продолжительное время (на 10 суток и более) осеннее обследование выполняют повторно. На каждом наблюдательном участке определяют:

- фазу развития растений;
- высоту и густоту стояния растений и стеблестоя;
- степень распространения сорняков;
- повреждения растений неблагоприятными метеорологическими явлениями, вредителями и болезнями;
- оценивают состояние посевов, глубину залегания узла кущения и состояние корневой системы;
- площадь поля с невзошедшими и погибшими посевами.

Большинство из названных наблюдений проводят по общепринятым методикам, изложенным в соответствующих главах Наставления (вып. 11, ч. I. 2000 г.).

Например, для определения густоты стояния растений (по их кустистости) выкапываются по 10 растений без выбора (всего 40). Затем у каждого десятка выкопанных растений подсчитывается общее количество стеблей (главных и боковых в сумме). Средняя кустистость определяется делением общего количества стеблей у выкопанных растений на 40 (результат округляется до первого знака после запятой). Затем делением количества стеблей, подсчитанных на 1 м<sup>2</sup>, на среднюю кустистость одного растения получают количество растений на 1 м<sup>2</sup> (табл. 14.1).

У каждого выкопанного растения измеряют глубину залегания узла кущения (расстояние от узла кущения до того места на главном побеге, где стебель теряет зелёную окраску) в сантиметрах, округляя до целого числа. Если растения имеют два узла кущения,

то измеряется глубина залегания только второго (верхнего) узла кущения. Площадь поля с погибшими и невзошедшими посевами определяют визуально путем осмотра видимой части поля; степень повреждения растений неблагоприятными метеорологическими явлениями, вредителями и болезнями также оценивается визуально в баллах.

Таблица 14.1.

**Форма записей измерений густоты стояния озимой пшеницы**

Дата	Элемент учёта		Количество гнёзд, кустов, растений или стеблей					
			Повторность				Суммарное значение	Среднее значение
	Наименование	Значение на единице площади (в гнезде, у растения)	1	2	3	4		
27.10			Количество стеблей, шт.	488,0	122	131	128	107
	Количество стеблей у 10 выкопанных растений в каждой повторности, шт.		13	14	14	12	53	13
	Кустистость	1,3						
	Количество растений на 1 м <sup>2</sup>	375,0						

*Весеннее обследование* состояния озимых зерновых культур и озимого рапса проводится через 10 дней после возобновления вегетации на тех же наблюдательных участках, на которых проводилось осеннее обследование посевов. Во время весеннего обследования определяются те же параметры, что и во время осеннего, кроме глубины залегания узла кущения и состояния корневой системы. Эти параметры весной не определяются. Пример заполнения результатов наблюдений при осеннем и весеннем обследовании приведен в таблице 14.2.

Осеннее и весеннее обследование состояния зимующих сеяных трав первого и последующих лет жизни проводится одновременно с обследованием состояния озимых зерновых культур. Если травы весной отрастают позже, чем озимые, то их обследование проводится через 10 дней после возобновления вегетации.

Таблица 14.2.

**Осеннее и весеннее обследование озимых зерновых культур, озимого рапса и многолетних трав**

Культура	Дата обследования	Сведения о погибших и невзошедших растениях		Фаза развития	Высота, см	Оценка состояния, балл	Засорённость, балл	Количество на 1 м <sup>2</sup> , шт.		Кустистость
		Площадь, %	Возможная причина гибели или отсутствия всходов					растений	стеблей	
Озимая пшеница	27.10	5	Семена не проросли	Кущение	11	4	1	375	488	1,3
Озимая пшеница	09.04	15	Выпревание	Кущение	5	4	1	321	908	2,8

**14.2. Методы определения жизнеспособности озимых культур и многолетних трав зимой**

В отдельные годы большой ущерб аграрному сектору экономики наносит гибель посевов зимой, значительно сокращающая валовой сбор зерна и вызывающая дополнительные затраты ресурсов для пересева погибших озимых к началу весны яровыми культурами. Для этого используются заблаговременно подготавливаемые агрометеорологические прогнозы ожидаемой площади с погибшими озимыми посевами. Важнейшей информацией для составления прогнозов является определение жизнеспособности зимующих сельскохозяйственных культур, осуществляемое агрометеорологами с помощью четырёх методов:

- отращиванием растений в монолитах почвы;
- отращиванием проб в воде;
- тетразолным экспресс-методом;
- методом биологического контроля.

Для определения жизнеспособности озимых зерновых культур применяются все перечисленные методы, для озимого рапса и многолетних трав – три первых. В отдельные годы большой ущерб аграрному сектору экономики наносит гибель посевов зимой, значительно сокращающая валовой сбор зерна и вызывающая

дополнительные затраты ресурсов для пересева погибших озимых к началу весны яровыми культурами. Для этого используются заблаговременно подготавливаемые агрометеорологические прогнозы ожидаемой площади с погибшими озимыми посевами.

*Метод отращивания растений в монолитах почвы* считается стандартным, наиболее точным, но самым трудоёмким и наименее оперативным. Информацию о состоянии растений можно получить только через две недели после взятия образцов в поле. Взятие монолитов почвы на всей территории посевов озимых зерновых, рапса и многолетних трав в стране производят в два срока: 25 января и 20 февраля. Этот метод используется в качестве контрольного при оценке возможности применения любого другого метода. При определении жизнеспособности растений методом отращивания проб в воде состояние растений можно определить через неделю. Наиболее оперативными (но менее точными) являются тетразоновый экспресс-метод и метод биологического контроля. Используя их, состояние растений можно определить на следующий день после взятия образцов в поле.

Приведём краткое описание основных особенностей применения стандартного метода и метода биологического контроля.

Места для взятия монолитов выбираются с осени вблизи постоянных мест для определения густоты стояния зимующих культур. Выделяются и отмечаются вешками по две площадки на каждой повторности. Растения на выбранных площадках не должны отличаться от растений на основном участке массива. Для облегчения вырубki монолитов и предупреждения их разлома при транспортировке монолиты целесообразно подготовить с осени. На выбранную с осени площадку накладывается рамка размером 30 × 30 см, сделанная из узких дощечек. Необходимо следить, чтобы в рамку попали растения двух смежных рядков. После этого берут щиток-лопатку и, прислоняя её к одной из сторон рамки, нажимают на рукоятку, погружая щиток-лопатку в почву на глубину 15–20 см. При этом нужно пошатывать лопатку по сторонам вдоль щели в почве как при заглаблении, так и тогда, когда вынимают её из почвы. Затем в приготовленную щель вдавливаются согнутая вдвое плотная бумага (или газета), наложенная снизу на щиток-лопатку. Когда бумага вдавится на нужную глубину, щиток-лопатка вынимается, оставляя бумагу в щели. В каждую щель нужно вдавить бумагу толщиной в два слоя и более. Таким образом подготавливаются монолиты на всех восьми выделенных площадках.



Зимой в каждый срок наблюдения вырубается четыре монолита – по одному монолиту в каждой из четырёх частей участка. В месте, выбранном для взятия проб монолитов, сначала определяется высота снежного покрова переносной рейкой; при наличии притертой ледяной корки измеряется её толщина в миллиметрах. С площадки, предназначенной для взятия монолитов почвы с растениями, осторожно счищается снег (лопаткой, затем веником). Далее визуально отмечаются состояние верхнего слоя почвы (мерзлая, талая) и особенности местоположения площадки (пологий западный склон, ровное место, возвышенная часть поля и т. д.). Пробы почвы с растениями вырубается монолитом, имеющим размеры 30 × 30 см при глубине 15 – 20 см. В случае разлома монолита во время его взятия растения по линии разлома следует удалить (рис. 14.1).

После вырубки монолит тотчас же помещается в заранее подготовленный почвенный деревянный ящик размером 30 × 30 × 20 см. Ящик с пробой немедленно укрывается, для того чтобы избежать повреждения растений низкими температурами при перевозке. Привезённые с поля ящики с монолитами следует поместить на 1–2 дня в прохладное слабо освещаемое помещение для постепенного оттаивания, а затем перенести в светлое тёплое помещение с температурой выше 15 °С.



*Рис. 14.1. Вырубка монолитов почвы с зимующими зерновыми культурами*

После оттаивания почвы в монолитах отмечают фазу развития растений и их внешний вид (побуревшие, зелёные и т. д.). Ящики с монолитами ставят близко к окнам (так как при недостаточном освещении создаются неблагоприятные условия для отрастания) и по мере надобности поливают почву, не допуская её переувлажнения. Вода для полива должна быть комнатной температуры. На 15-е сутки после взятия проб производятся оценка внешнего вида растений и учёт результатов отращивания. Все без исключения растения осторожно выбираются из монолита, а их корни промываются в воде. После промывки подсчитывается общее количество растений (кустов), затем они сортируются на две группы: растения живые, отросшие, и растения погибшие, не отросшие. Живыми

следует считать растения с новыми листочками, а у растений, находящихся в фазе кущения и с новыми корнями (новые корни имеют белый цвет, легко рвутся). Крайние растения (кусты), повреждённые при взятии монолитов ещё на поле, в подсчёт не включаются.

На основании результатов подсчёта вычисляется процент гибели растений в каждой пробе по следующей формуле:

$$П = \bar{b} \cdot 100 / a, \quad (14.1)$$

где  $П$  – количество погибших растений (кустов), %;  $\bar{b}$  – количество неотросших растений (кустов) в повторности;  $a$  – общее количество растений (кустов).

Например, в монолите было всего 25 кустов; не дал отрастания 1 куст, что составляет 4 %.

*Метод биологического контроля.* При определении жизнеспособности этим методом пробы почвы с растениями вырубаются не целиком монолитом, а отдельными кустиками из двух смежных рядков растений (каждый по 0,5 м). Почва подрубается с двух сторон рядка на глубину 8–10 см. Куски почвы с растениями вынимаются по частям так, чтобы большая часть растений, особенно их узлы кущения, сохранилась неповреждённой.

Приёмы доставки почвы с растениями в помещение станции и их оттаивания такие же, как при применении метода отращивания растений в монолитах почвы. Для анализа используются 40 растений (по 10 растений без выбора, взятых в четырёх местах наблюдательного участка). После оттаивания почвы и промывания водой комнатной температуры растения в зависимости от цвета листьев сортируются на группы в соответствии с пятибалльной шкалой: зелёный – 5, жёлто-зелёный – 4, жёлтый – 3, бурый – 2, чёрно-бурый – 1. Отсортированные по цвету листьев растения используются для определения состояния конуса нарастания. Для того, чтобы рассмотреть конус нарастания, растения препарируются. При этом на расстоянии 2 см от узла кущения обрезаются корни, а у побегов последовательно иглой снимаются верхние листья. Иглой осторожно удаляются недоразвитые листочки, покрывающие конус нарастания. Обнаруженный конус нарастания рассматривается под бинокулярной (с 4- или 6-кратным увеличением) или ручной лупой. Место расположения конуса нарастания показано на рис. 14.2.

При оценке степени повреждения растений по конусу нарастания рассматривается наиболее развитый стебель. В зависимости от состояния конуса нарастания состояние растений оценивается по трёхбалльной шкале. У живых растений конус нарастания



Рис. 14.2. Конус нарастания (К) растений озимых зерновых культур в осенне-зимний период

Местоположение конуса нарастания в разных фазах развития показано стрелками. Состояние конусов нарастания: 1 – живые (5 баллов); 2 – слабо повреждённые морозами (3 балла); 3 – погибшие (1 балл)

бледно-зелёный или почти белый с хорошо выраженным тургором всех тканей. У растений, погибших от низких температур, конус нарастания характеризуется полной потерей тургора (при прикосновении иглой чувствуется мягкость, вялость тканей), помутнением клеток и появлением жёлто-бурой и даже коричнево-чёрной окраски. При оценке состояния растений отдельно указываются степень повреждения листьев и конуса нарастания. Степень повреждения растений по цвету листьев определяется путём подсчёта количества растений, имеющих ту или иную окраску листьев (в процентах от общего количества растений, взятых для анализа), табл. 14.3.

Таблица 14.3

**Оценка состояния растений озимых зерновых культур по состоянию конуса нарастания**

Состояние конуса нарастания	Оценка, балл
Живой, тургорный, бледно-зелёный	5
Слабо повреждённый, тургорный, белый, мутный	3
Мёртвый, бурый, сморщенный	1

При оценке общего состояния растений отдельно указываются степень повреждения листьев и конуса нарастания. Степень повреждения растений по цвету листьев определяется путём подсчёта количества растений, имеющих ту или иную окраску листьев (в процентах от общего количества растений, взятых для анализа).

Средние взвешенные оценки состояния растений рассчитываются по формулам:

$$Q_1 = 5N_1 + 4N_2 + 3N_3 + 2N_4 + N_5 / 100, \quad (14.2)$$

$$Q_2 = 5n_1 + 3n_2 + n_3 / 100, \quad (14.3)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – средние взвешенные оценки состояния растений по цвету листьев и состоянию конуса нарастания соответственно, балл;  $N_1 \dots N_5$  – количество растений каждой градации оценки их состояния по цвету листьев, %;  $n_1 \dots n_3$  – количество растений каждой градации оценки их состояния по состоянию конуса нарастания, %.

#### *Пример*

В анализируемом образце всего 40 растений озимой пшеницы, из них зелёную окраску листьев имели 60 %, жёлто-зелёную – 30 % и жёлтую – 10 %. По состоянию конуса нарастания 50 % растений имели оценку 5 баллов, 35 % – 3 балла и 15 % – 1 балл. Средние взвешенные оценки состояния озимой пшеницы по цвету и конусу нарастания соответственно составили:

$$Q_1 = (5 \cdot 6) + (4 \cdot 30) + (3 \cdot 10) : 100 = 450 : 100 = 4,5 \text{ балла},$$

$$Q_2 = (5 \cdot 50) + (3 \cdot 35) + (1 \cdot 15) : 100 = 370 : 100 = 3,7 \text{ балла}.$$

Более подробно с этими методами, а также с методом отращивания проб в воде и тетразольным экспресс-методом можно ознакомиться в «Наставлении...», 2000 г. (вып. 11, ч. I. Книга 1. Раздел 13.5. С. 288–319).

### **14.3. Методы определения жизнеспособности побегов плодовых культур и винограда зимой**

Для более полного определения состояния основных плодовых культур проводят зимнее и весеннее обследования садов. Зимой определение жизнеспособности плодовых культур производят путём отращивания их веток. Пробы веток на отращивание берутся через 5–7 суток после сильных морозов: -25...-30 °С – в центральных и северных регионах и -18...-25 °С – в южных регионах страны. Если резкому понижению температуры предшествовала оттепель, то пробы веток на отращивание следует брать после

более слабых морозов:  $-20...-25^{\circ}\text{C}$  в центральных и северных регионах и  $-15...-20^{\circ}\text{C}$  в южных. Если зимой наблюдается несколько волн холода, то ветки следует брать на отращивание после каждой из них. Весной в первой половине марта отращивание веток проводят во всех садоводческих районах. Выбор веток для отращивания производят с таким расчётом, чтобы на них находились и плодовые и листовые почки (рис. 14.3).

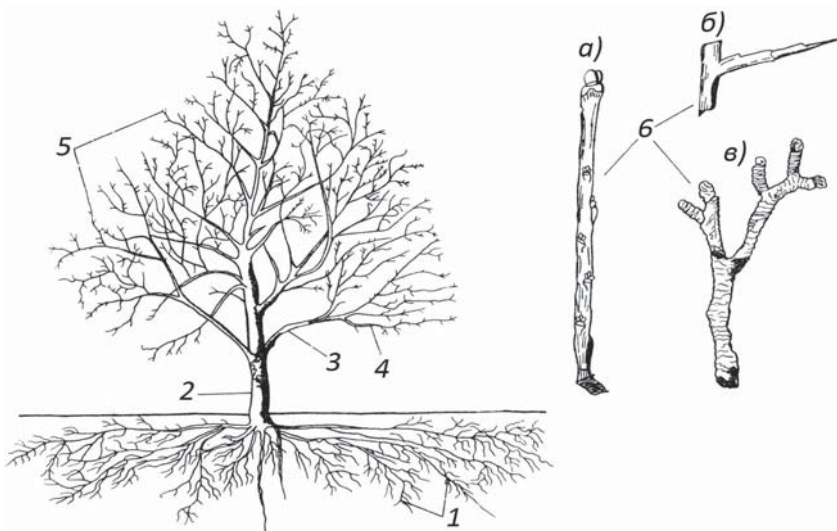


Рис. 14.3. Схема структуры взрослого плодового дерева

1 – корневая система; крона дерева состоит из: 2 – штамб (основной ствол); 3 – основные скелетные ветви; 4 – полускелетные ветви (ветви второго порядка); 5 – молодые отрастающие ветки, не имеющие плодовых почек; 6 – плодовые ветки: а) – плодовая веточка (несущая плодовые почки); б) – копыце (укороченный побег, не имеющий листовых и плодовых почек); в) – сложная кольчатая «плодушка»

Для определения жизнеспособности веток основных плодовых культур на деревьях срезают (острым ножом под углом) по 2–4 ветки длиной 30–40 см с однолетней и двухлетней древесиной. Чтобы в клетки проводящих тканей не проник воздух, концы срезов необходимо сразу же замазать стеарином или пластилином. Ветки помещаются в полиэтиленовый пакет для предохранения тканей от пересыхания. После доставки веток на станцию (пост) они помещаются в холодное помещение с температурой  $2-5^{\circ}\text{C}$  для постепенного оттаивания. Через 12 ч ветки переносят в

тёплое помещение, где их вынимают из полиэтиленового пакета и помещают в сосуд с водой для отращивания. При этом ранее замозаный конец каждой ветки обрезают под водой острым ножом или бритвой на 3–4 см. Воду в сосуде следует менять 1 раз в неделю; одновременно нужно подрезать концы веток, не вынимая их из сосуда. Ветки погружают в воду на 1/3 их длины, причём уровень воды после её смены должен оставаться одним и тем же. Чтобы обеспечить создание повышенной влажности воздуха около почек и улучшить условия для их набухания и распускания, ветки во время отращивания следует прикрыть сверху полиэтиленовым пакетом. Отращивание продолжается до распускания почек. Если на ветках в течение 20–25 суток не будет отмечено не только распускания, но и набухания почек, то отращивание прекращают.

После прекращения отращивания на всех срезанных ветках данной породы подсчитывают общее количество почек, количество распутившихся, набухших и неразвившихся почек. Для пород, у которых легко различимы цветочные и листовые почки (яблоня, груша), подсчёт ведётся отдельно. Для определения наличия повреждённых почек неразвившиеся почки разрезают острым ножом или бритвой вдоль на две равные части. Срезы рассматривают в лупу. Бурая или светло-жёлтая окраска внутренних частей почек указывает на их повреждение. Степень повреждения определяют по количеству повреждённых почек в процентах от их общего количества.

Состояние однолетней и двухлетней древесины определяется по её цвету. Для этого делается продольный разрез веток до середины. Неповреждённая древесина имеет обычно светло-зелёную окраску. Повреждённая древесина отличается потемнением различной интенсивности и различных оттенков – от светло-жёлтого до тёмно-бурого. О степени повреждения можно судить по интенсивности окраски разрезанных веток, зависящей также от породы дерева, возраста и других факторов. Пример заполнения книжки КСХ-2м по результатам отращивания веток плодовых культур приведён в таблице 14.4.

У винограда с каждого закреплённого для наблюдений куста срезают по одному побегу. После прекращения отращивания подсчитывают количество распутившихся, набухших и неразвившихся глазков. Результаты отращивания лозы винограда записывают в таблицу книжки КСХ-2м. Пример заполнения таблицы по отращиванию лозы винограда приводится в таблице 14.5.

Таблица 14.4

Отращивание веток плодовых культур (дата взятия проб веток 25.01)

Культура	Сорт	Общее количество почек на всех срезаемых ветках, шт.		Количество почек										Цвет древесины					
		цветочных	листовых	распустившихся		набухших, но не распустившихся		неразвившихся				в том числе повреждённых		Однолетней	Двухлетней				
				цветочных	листовых	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	Словесно	Словесно
Вишня	Владимирская	30						5	17	5						4	13	Жёлтый	Светло-жёлтый

Таблица 14.5

Ограживание веток плодовых культур (дата взятия проб веток 25.01)

Сорт	Ярус	Общее количество глазков на всех срезанных лозах, шт.	Количество глазков				Количество отрезков лозы				Примечание							
			распустившихся		но не распустившихся		неразвившихся		повреждённых			всего, шт.						
			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%						
Тайфи розовый	1-й	68	60	86	5	7	3	2	2	3	1	1	20	2	10	1	5	Повреждения вызваны сильными морозами
	2-й	70	60	88	6	9	4	3	4	1	1	20	2	10	1	5		
	3-й	65	58	89	3	5	4	2	2	3	2	2	18	3	17	2	11	



#### **14.4. Весеннее обследование садов плодово-ягодных культур и виноградников**

Обследование плодовых культур (яблоня, груша, слива, вишня, абрикос) проводится один раз – после наступления фазы массового цветения. При обследовании садов осматриваются 100 деревьев каждой породы (желательно одного сорта) как на наблюдательных участках, выделенных для производства наблюдений за плодовыми, так и на общем массиве сада. Если нет 100 экземпляров, обследование проводится по имеющемуся количеству, о чём делается запись в книжке КСХ-2м. Общая оценка повреждения надземной части даётся по следующим признакам:

- повреждений нет – дерево совершенно здоровое;
- слабое повреждение – дерево хорошо облиственно, листья нормальные, гибель плодовых элементов не превышает 30 %, засохших побегов и веток мало;
- среднее повреждение – погибло около половины «плодушек» и молодых побегов, наблюдается выпадение полускелетных или единичных скелетных веток;
- сильное повреждение – усыхание большей части кроны;
- гибель надземной части – крона усохла полностью.

При сильных морозах и небольшом снежном покрове возможно повреждение корневой системы плодовых деревьев. При повреждённой корневой системе и при сохранившейся надземной части начальные фазы развития дерева проходят нормально (за счёт имеющихся в надземной части питательных веществ). Однако в дальнейшем дерево не даёт поросли и некоторое время спустя начинает засыхать. Такие повреждения отмечаются в книжке КСХ-1м при наблюдениях в вегетационный период.

При проведении обследования необходимо указывать возможные причины гибели (вымерзание, вымокание от затопления садов талыми или поднявшимися грунтовыми водами и т. п.). Следует также отмечать, носят ли повреждения массовый характер или встречаются на отдельных участках сада (различающихся по рельефу, экспозиции склона, близости к водоему и т. д.), зависят от возраста дерева или от агротехники. Пример записи в книжке КСХ-2м результатов наблюдений при весеннем обследовании садов – в таблице 14.6.

Таблица 14.6

**Пример записи результатов весеннего обследования садов**

Порядковый номер дерева	Степень повреждения кроны		Примечание
	Наименование культуры и сорта		
	Яблоня Антоновка	Вишня Владимирская	
1	Слабое	Сильное	Повреждение яблони и вишни вызвано морозами (5 суток с температурой от -23 до -25 °С в феврале после продолжительной оттепели, когда 12 суток дневная температура была положительной (3 – 5 °С). Повреждения встречаются на всём массиве сада, но более сильные – на северном склоне.
2	Нет	Среднее	
3	Среднее	Среднее	
4	Слабое	Сильное	
5	Среднее	Среднее	
6	Нет	Слабое	
...	...	...	
100	Нет	Слабое	

Таким образом, статистически обработанные результаты массового осеннего (перед началом зимнего периода) и весеннего (после перезимовки) обследования состояния посевов на полях и плодовых культурах в садах, несмотря на определённую трудоёмкость и тщательность их проведения, представляют большую производственную ценность для принятия своевременных оперативно-хозяйственных решений, принимаемых агрономами и руководителями сельскохозяйственных подразделений страны.

**Контрольные вопросы**

1. В какие сроки проводятся осенние и весенние обследования состояния озимых зерновых культур и многолетних трав?
2. В какие сроки срезают ветки плодовых культур для определения жизнеспособности плодовых и листовых почек?
3. Какие наблюдения проводятся при осеннем и весеннем обследованиях?
4. Как измеряется высота озимой пшеницы при весеннем обследовании, если растения вступили в фазу выхода в трубку?
5. Как рассчитать изреженность посевов?
6. Какой метод определения жизнеспособности зимующих культур считается основным? Расскажите всю технологию отбора монолитов и определения жизнеспособности зимующих зерновых культур.
7. Что нужно сделать осенью, чтобы облегчить вырубку почвенных монолитов зимой? Назовите размеры монолитов.

8. Как определить жизнеспособность многолетних трав методом отращивания проб в воде?

9. Как определяется оценка состояния озимых зерновых культур методом биологического контроля?

10. Рассчитайте среднюю взвешенную оценку состояния растений по состоянию конуса нарастания, если 30 % растений имели оценку 5 баллов, 45 % – 3 балла и 25 % – 1 балл.

11. В какие сроки проводится весеннее обследование садов?

12. По каким признакам дается общая оценка повреждения надземной части плодовых культур при весеннем обследовании?

#### *Задание*

Возьмите образцы веток различных плодовых деревьев согласно методике; поставьте их на отращивание, запишите результаты, проведите анализ результатов отращивания.

## Глава 15

# НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ И ОПАСНЫЕ ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ТЁПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА. МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Гидрометеорологические явления (или погодные условия), которые по своей интенсивности, продолжительности, охвату территории, повторяемости или времени возникновения могут нанести значительный ущерб различным отраслям экономики, в том числе и сельскохозяйственному производству, называются *опасными природными (гидрометеорологическими) явлениями (ОЯ)*. Применительно к сельскохозяйственному сектору экономики такие явления называются *опасными агрометеорологическими условиями (ОАУ)*.

Критерии ОЯ и ОАУ – это количественные значения гидрометеорологических величин либо их качественные характеристики, при достижении которых стихийное гидрометеорологическое явление считается опасным. Величины гидрометеорологических явлений, не достигающие критериев ОЯ, но затрудняющие деятельность различных отраслей экономики конкретных предприятий, считаются *неблагоприятными условиями погоды (НУП)*.

Известно более 10 видов ОЯ применительно к аграрному сектору экономики. В тёплый период года к ним относятся: заморозки, засухи, суховеи, пыльные бури, градобития, ливни и грозы, шквалистые ветры, переувлажнение почвы и др. В системе Росгидромета составлен типовой перечень опасных явлений, применительно к различным отраслям экономики: сельскому хозяйству, строительству, авиации, наземному и морскому транспорту и другие. Этот перечень приведён в нормативном документе «Порядок действий организаций и учреждений Росгидромета при возникновении опасных природных (гидрометеорологических)

явлений» (Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2000). Опасные гидрометеорологические явления фиксируются на наблюдательной сети станций Росгидромета и передаются в установленном режиме в гидрометеорологические центры с целью принятия оперативных мер по борьбе с такими явлениями или для смягчения их негативных последствий, а также для пополнения базы данных, формирующихся в государственных учреждениях Росгидромета.

Известно, что наиболее подверженным влиянию ОАУ является сельскохозяйственное производство, поскольку невозможно надёжно защитить возделываемые культуры на больших площадях.

### 15.1. Типы заморозков

*Заморозками называют кратковременное понижение температуры приземного слоя воздуха или поверхности почвы (травостоя) до 0 °С и ниже, наблюдаемое в вегетационный период на фоне положительных средних суточных температур воздуха.* Различные по интенсивности и повторяемости заморозки наблюдаются во всех сельскохозяйственных регионах страны. В зависимости от времени возникновения и степени интенсивности и продолжительности заморозки могут частично или существенно повредить сельскохозяйственные культуры, снизить или полностью уничтожить их урожай. Особенно опасны поздние весенние и ранние осенние заморозки, совпадающие с периодом активной вегетации посевов.

По *интенсивности* различают заморозки слабые, средние и сильные.

*Слабыми заморозками* считается понижение температуры деятельной поверхности не ниже -2 °С, при температуре воздуха на уровне 2 м (в психрометрической будке)  $\geq 0$  °С.

При *средних заморозках* приземная температура воздуха и поверхности земли опускается до -3...-4 °С. При *сильных заморозках* температура в приземном слое (до 1,5 – 2,0 м) и на поверхности земли понижается до -5 °С. Применительно к плодовым культурам под заморозком понимают аналогичное снижение температуры в слое воздуха на среднем уровне расположения крон.

По *длительности действия* различают заморозки: *продолжительные* (> 12 ч), *средней продолжительности* (5 – 12 ч), *кратковременные* (< 5 ч). Кратковременные заморозки растения переносят с меньшими повреждениями, чем продолжительные, в сомкнутых посевах повреждаются преимущественно верхние ярусы побегов и листьев.

В зависимости от характера атмосферных процессов различают три типа заморозков.

*Адвективные заморозки*, возникающие вследствие затока холодных воздушных масс в процессе перестройки сезонной циркуляции атмосферы. Такие заморозки обычно наблюдаются в начале весны или поздней осенью. Как правило, они охватывают большие территории с продолжительностью несколько суток, в течение которых в дневные часы происходит постепенный прогрев холодных масс воздуха. Этот тип заморозка наименее опасен для озимых культур, уже имеющих закалку низкими температурами или не потерявших её в начале весны. В отдельные годы такие заморозки осенью наносят непоправимый урон плодовым культурам, у которых ещё не закончилось сокодвижение в проводящих сосудах. При адвективных заморозках влияние рельефа местности, состояние почвы, наличие растительности, близость водоёмов проявляются слабее, чем при других типах заморозков, поскольку происходит заток больших холодных воздушных масс, проникающих повсеместно.

*Радиационные заморозки* возникают в тихие ясные ночи при относительно низких средних суточных температурах воздуха в результате интенсивного излучения земной поверхности<sup>1</sup>, охлаждения её и прилегающего слоя воздуха до отрицательных температур. Этот тип заморозка называют в народе *утренниками*, поскольку они длятся в течение ночи, усиливаясь ко времени восхода Солнца. Следствием сильного ночного охлаждения воздуха у земной поверхности является формирование приземной инверсии температуры. При инверсии с высотой температура повышается в некотором слое воздуха, в то время как на поверхности почвы или сомкнутого травостоя холоднее, чем на высоте 2 м, в среднем на 2,5–3,0 °С. Наиболее низкая температура воздуха в безветренные и ясные ночи в большинстве случаев отмечается на высоте 2–5 см над поверхностью почвы. Интенсивность и продолжительность радиационных заморозков зависят от рельефа и характера подстилающей поверхности, влажности воздуха и других местных условий. Обычно их продолжительность ограничивается тёмным временем суток, иногда до 8–12 часов.

*Адвективно-радиационные (смешанные) заморозки* возникают в результате вторжения холодных масс воздуха (адвекция) на конкретную территорию и последующего ночного выхолаживания

---

<sup>1</sup> Поверхность почвы и прилегающий к ней нижний слой атмосферы в ночной период отдают тепло путём излучения по законам абсолютно чёрного тела.

приземного слоя воздуха до отрицательных температур вследствие излучения подстилающей поверхности. Заморозки этого типа наблюдаются обычно в конце весны и даже в начале лета, а также ранней осенью в результате холодных вторжений арктического воздуха. Такой заморозок обычно возникает в ночные часы, главным образом перед восходом Солнца, его продолжительность чаще всего не превышает 3–4 ч, в течение нескольких ночей, а интенсивность, как правило, – около -2...-3 °С.

При радиационных и адвективно-радиационных заморозках микроклиматические различия проявляются весьма чётко. Большое влияние на интенсивность и продолжительность заморозков оказывает рельеф местности, степень её облесённости, наличие крупных водных поверхностей или иных физико-географических особенностей территории. Заморозки на поверхности почвы заканчиваются позже, а осенью начинаются раньше, чем в воздухе (на высоте 2 м). Вследствие этого беззаморозковый период на почве на 20–30 суток короче, чем в воздухе.

По *интенсивности* заморозки классифицируют на *слабые* – от 0 до -2 °С; *средние* – от -3 до -5 °С; *сильные* – от -5 °С и ниже.

Степень повреждения растений заморозками зависит от многих причин: уровня заморозкоустойчивости возделываемых культур и сортов, фазы их развития в заморозко-опасный период, времени наступления, интенсивности и продолжительности заморозка, рельефа и высоты местности над уровнем моря, где расположены посевы, от температуры воздуха до наступления заморозка, от влажности почвы и применяемой агротехники. Сельскохозяйственные культуры и их сорта обладают различной устойчивостью к заморозкам (табл. 15.1).

Таблица 15.1

**Устойчивость сельскохозяйственных культур к заморозкам в разные фазы развития**

Культура	Начало повреждения и частичная гибель		
	Всходы	Цветение	Созревание (молочная спелость)
Наиболее устойчивые			
Яровая пшеница	-9...-10	-1...-2	-2...-4
Овёс	-8...-9	-1...-2	-2...-4
Ячмень, горох, чечевица	-7...-8	-1 (-2)...-2 (-3)	-2 (-3)...-4

Окончание табл. 15.1

Культура	Начало повреждения и частичная гибель		
	Всходы	Цветение	Созревание (молочная спелость)
Устойчивые			
Люпины (многолетний и одно-летний), вика яровая	-6 (-5)...-8 (-6)	-2...-3	-2...(-4)
Бобы, подсолнечник	-5...-6	-2...-3	-2...-3
Лён, конопля	-5...-7	-1...-2	-2...-4
Сахарная свёкла, морковь, брюква, турнепс	-6...-7	-2...-3	–
Среднеустойчивые			
Люпин желтый, соя, редис, могар	-3...-5	-2...-3	-2...-3
Малоустойчивые			
Кукуруза	-2...-3	-1...-2	-2...-3
Просо, сорго, картофель	-2...-3	-1...-2	-1...-2
Неустойчивые			
Огурцы, томаты	-0...-1	-0...-1	-0...-1
Гречиха	-1...-2	-1	-1,5...-2
Фасоль	-1...-1,5	-0,5...-1	-2
Рис	-0,5...-1	-0,5	–
Бахчевые	-0,5...-1	-0,5...-1	-0,5...-1

На степень повреждения культур заморозками оказывает влияние вид минерального удобрения. Например, азотные удобрения снижают устойчивость к заморозкам большинства выращиваемых культур, кроме бобовых. Обильное калийное питание повышает устойчивость гречихи и картофеля, но снижает её у кукурузы и сои.

*Критическая температура растений* – это пороговое значение температуры окружающей среды, ниже которого растение погибает. Для разнообразных видов и сортов плодово-ягодных культур, возделываемых на Европейской части страны, заморозки особенно опасны в период цветения и образования плодов. У южных сортов и всех субтропических плодовых культур заморозки повреждают и листья, и кроны и даже одревесневшие части кроны (табл. 15.2).



Таблица 15.2

**Критические температуры повреждения заморозками  
некоторых плодовых и ягодных культур**  
(осреднённые значения по материалам различных авторов)

Культура	Части и органы растений, повреждаемые заморозком	Критические температуры
Яблоня, груша, вишня, слива (разные сорта)	Закрытые бутоны	-4
	Цветки	-2
	Плодовые завязи	-1
Черешня, абрикос, персик (разные сорта)	Бутоны и цветки	-2...-3
	Плодовые завязи	-1
Ягодники (малина, клубника)	Цветки и завязи	-2
Виноград (разные сорта)	Распускающиеся почки	-1
Мандарин	Дерево полностью	-12
	Крона	-10
	Листья	-8
Апельсин	Дерево полностью	-10...-11
	Крона	-8...-9
	Листья	-7
Лимон	Дерево полностью	-9...-10
	Крона	-7...-8
	Листья	-6

**15.2. Методы оценки и прогноза вероятности заморозков**

Вторжение холодных масс воздуха, обуславливающее развитие адвективных и адвективно-радиационных заморозков на больших территориях, достаточно надёжно прогнозируются специалистами учреждений Росгидромета при анализе синоптических карт с заблаговременностью от 1 до 3 суток. Такой синоптический прогноз обычно уточняется по данным наблюдений в каждом конкретном районе. Своевременное предупреждение о сроках наступления заморозков способствует снижению ущерба, а в отдельных случаях позволяет даже избежать тяжёлых последствий для растениеводства в конкретных районах.

Широкое распространение краткосрочного прогнозирования заморозков получили наиболее простые эмпирические методы, предложенные учёными В. А. Михельсоном, П. И. Броуновым, А. И. Михалевским; более сложные методы прогнозирования разработаны А. Ф. Чудновским, М. Е. Берляндом, которые используются

синоптиками. Рассмотрим подробнее некоторые методы прогноза (расчёта) наступления заморозков.

**Метод В. А. Михельсона.** Для определения вероятности заморозка в воздухе в ближайшую ночь используют данные по величине его абсолютной влажности (в метеорологической будке) в 13 и 21 ч. Известно, что при ясном небе поверхность почвы обычно оказывается холоднее воздуха на 2–3 °С, а при пасмурном небе – не более 2 °С. Расчёт вероятности заморозка по данным температуры воздуха в 13 ч считается предварительным, а в 21 ч – завершающим. Значения абсолютной влажности воздуха в 13 и 21 ч, а также соответствующие им вероятности заморозков приведены в табл. 15.3 (по данным Метеорологической обсерватории им. В. А. Михельсона, Москва).

Таблица 15.3

Время определения заморозка	Вероятность заморозка (%) при абсолютной влажности воздуха, мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13 ч	100	100	97	65	45	31	21	13	7	3
21 ч	100	100	93	78	64	50	35	20	5	0

Вероятность (%) наступления заморозка определяют по графику (рис. 15.1).

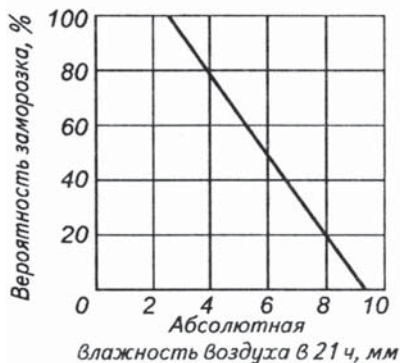


Рис. 15.1. График для прогноза вероятности ночного заморозка в ближайшую ночь (по методу В. А. Михельсона)

**Пример**

Если в 21 ч абсолютная влажность воздуха равна 4 мм, то вероятность заморозка ночью составит 78 %, при абсолютной влажности 2,6 мм вероятность составит 100 %, т. е. заморозок будет.

**Метод П. И. Броунова.**

Это простой и весьма надёжный графический способ расчёта вероятности заморозка на ближайшую ночь, доступный каждому агроному, фермеру и дачнику. Для этого необходимо измерить температуру воздуха на высоте 2 м в 13 и 21 ч. Вероятность возникновения заморозка в воз-

духе определяют по данным температуры в 21 ч и по разности температур в 13 и 21 ч с помощью графика (рис. 15.2).

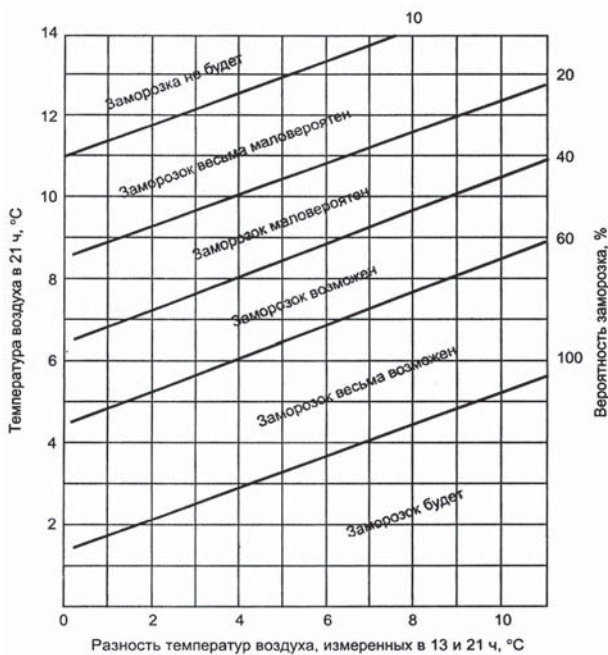


Рис. 15.2. График для определения вероятности заморозка в ближайшую ночь (по методу П. И. Броунова)

В поле графика нанесена серия наклонных линий, обозначающих вероятность заморозка в ближайшую ночь:

- менее 10 % – заморозка не будет;
- 10...20 % – заморозок весьма маловероятен;
- 20...40 % – заморозок маловероятен;
- 40...60 % – заморозок возможен;
- 60...80 % – заморозок весьма возможен;
- более 80 % – заморозок будет.

#### Пример

В 13 ч отмечена температура 16 °C, а в 21 ч – 7 °C. Разность температур в эти сроки равна 9 °C. По оси ординат находим температуру 7 °C, а по оси абсцисс – температуру 9 °C. Точка пересечения этих линий в поле графика показывает 70 %, т. е. заморозок весьма возможен. Нельзя забывать, что ясная и безветренная погода в 21 ч способствует наступлению заморозка, а облачная и ветренная – напротив, снижает его вероятность.

**Метод А. И. Михалевского.** Для определения ожидаемой минимальной температуры воздуха (т. е. вероятности заморозка) и почвы автор предложил формулы:

$$t_{\min \text{возд}} = t' - (t - t') C \pm A, \quad (15.1)$$

$$t_{\min \text{почвы}} = t' - (t - t') 2C \pm A, \quad (15.2)$$

где  $t'$  – температура по смоченному термометру в 13 ч, °С;  $t$  – температура по сухому термометру в 13 ч, °С;  $C$  – коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха  $f$  (табл. 15. 4).

Таблица 15.4

**Значения коэффициента  $C$   
в зависимости от относительной влажности воздуха  $f$  в 13 ч**

$f, \%$	$C$	$f, \%$	$C$	$f, \%$	$C$
100	5,0	70	2,0	40	0,9
95	4,5	65	1,8	35	0,8
90	4,0	60	1,5	30	0,7
85	3,5	55	1,3	25	0,5
80	3,0	50	1,2	20	0,4
75	2,5	45	1,0	15	0,3

$A$  – поправка на облачность, которую вводят после наблюдений в 21 ч: если небо ясное (0–3 балла), то  $A = -2$  °С; при средней облачности (4–7 баллов)  $A = 0$ ; при облачности 8–10 баллов  $A = 2$  °С.

Таким образом, если рассчитанная  $t_{\min}$  окажется ниже  $-2$  °С, то заморозок будет; при  $t_{\min}$ , равной от  $-2$  до  $2$  °С, заморозок вероятен; при  $t_{\min}$  выше  $2$  °С заморозок маловероятен. Интенсивность заморозка зависит от рельефа местности, где расположены сельскохозяйственные посевы (табл. 15.5).

Таблица 15.5

**Изменение вероятности и интенсивности заморозков  
в зависимости от их местоположения**

Местоположение поля	Вероятность заморозков*, %	Изменение интенсивности заморозков**, °С
Вершины возвышенностей и верхние части склонов	-30	Около +2
Долины и холмистые местности	+20	-1,5...-2
Долины в горах	+30	-2

Окончание табл. 15.5

Местоположение поля	Вероятность заморозков*, %	Изменение интенсивности заморозков**, °С
Котловины	+40	-4...-5
Поляны	+30	Около -2
Острова и побережья	-35	+2
Города	-20	+2...+3

\* Плюс означает увеличение вероятности заморозков, минус – уменьшение её на указанный процент.

\*\* Плюс означает повышение температуры, минус – понижение её по сравнению с ровным открытым участком территории под посевом.

#### *Пример*

Рассчитать вероятность заморозков в воздухе и на почве по формулам 15.1 и 15.2, используя следующие данные: температура воздуха по сухому термометру в 13 ч была 10,0 °С, по смоченному термометру – 6,0 °С, относительная влажность – 50 %.

#### *Решение*

По значению относительной влажности в табл. 15.3 находим, что коэффициент  $C = 1,2$ . Подставляя это значение в формулу 15.1, находим:

$$t_g = 6,0 - (10,0 - 6,0) \cdot 1,2 = 1,2.$$

При наблюдениях в 21 ч отмечена облачность 2 балла, поэтому в рассчитанное значение вносим поправку, равную -2, тогда ожидаемая минимальная температура воздуха будет -0,8 °С.

На поверхности почвы минимальную температуру определим по формуле 15.2.

$$t_n = 6,0 - (10,0 - 6,0) \cdot 2 \cdot 1,2 = -3,6.$$

С внесением поправки на облачность (4) в 21 ч значение ожидаемого заморозка на почве  $-3,6 + (-2) = -5,6$ .

### **15.3. Методы защиты полевых и плодовых культур от заморозков**

Для защиты посевов полевых и плодовых культур применяют различные методы (приёмы), объединяемые понятием «*борьба с заморозками*». Все локальные агротехнические, технологические и технические мероприятия проводятся с целью уменьшения потерь тепла растениями и почвой за счёт собственного излучения и искусственного повышения температуры нижнего слоя приземного воздуха.

Наиболее распространенным методом защиты садов является *дымление – создание дымовой (аэрозольной) завесы*. Дымовая

завеса образуется вследствие температурной инверсии в приземном слое воздуха, где расположена основная масса растений (в том числе и древесно-кустарниковых форм). Дым, охлаждаясь в нижнем слое воздуха, быстро теряет подъёмную силу, и внутри слоя инверсии растекается горизонтально на некоторой высоте над поверхностью посевов. При радиационных заморозках повышение температуры подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха под дымовой завесой обусловлено комплексом факторов: обогревом воздуха тёплым дымом при вялом горении дымообразующих куч (или специальных дымовых шашек, нефтяных горелок), конденсацией водяного пара в воздухе с выделением тепла, уменьшением эффективного излучения земли и растений. С помощью дымления удаётся повысить температуру воздуха на 1–2 °С. При адвективном типе заморозков эффект дымления резко снижается из-за быстрого рассеивания тепловых потоков дыма и разрушения слоя инверсии над защищаемыми растениями благодаря ветру.

Для защиты посевов широко применяется *полив* или *дождевание посевов (садов)*, увеличивающих теплопроводность почвы, приток тепла из более глубоких слоев к её поверхности и повышающих температуру точки росы. Этот приём может повысить холодную ночную температуру на 2 °С. Дождевание в садах проводят как до наступления заморозков (за несколько часов), так и непосредственно в часы с отрицательными температурами. Предзаморозковое дождевание эффективно при заморозках до -2 °С и ветре 1,5–2 м/с, а также при заморозках до -4 °С и штиле.

К числу *агротехнических приёмов* относится размещение посевов (в том числе садов и виноградников) на менее «морозобойных» площадях, в том числе на возвышенностях и склонах, меньше подверженных заморозкам. Известными приёмами борьбы с заморозками являются: изменение времени сева на более поздние сроки, т. е. после прохождения средних многолетних сроков весенних заморозков, применение повышенных доз калийных удобрений, возделывание ранних культур в теплицах и оранжереях на дачных участках или в производственных масштабах (тепличные хозяйства с дополнительным обогревом и контролируемой температурой и др.).

В последние годы учёными предложены методы активного воздействия на заморозки с использованием специальных вентиляционных установок (стационарных авиационных двигателей), подающих в заданное время тёплый воздух в среду растений. К этой категории методов относится также *нанесение тепловыделяющих*

*(экологически безопасных) химических веществ* на поверхность почвы. Эти вещества – соли гидрида кальция – при взаимодействии с водяным паром воздуха и почвы выделяют тепло в течение нескольких часов. Скорость гидролиза небольшая, а время выделения тепла соизмеримо с продолжительностью радиационных и адвективно-радиационных заморозков. Опыты и расчёты, выполненные сотрудниками ВНИИСХМ и НПО «Тайфун», показали, что при расходе  $200 \text{ г/м}^2$  гидрида кальция температура у поверхности земли повышается на  $2,5 - 3 \text{ }^\circ\text{C}$  и сохраняется в течение нескольких часов, что обычно достаточно для предотвращения губительного действия заморозка на растения.

#### **15.4. Засухи, суховеи и засушливые явления**

К стихийным явлениям природы, наносящим значительный экономический, экологический и социальный ущерб сельскохозяйственному производству, относятся засухи и суховеи. На территории России и других стран СНГ более 70 % пахотных земель расположено в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, на которых засухи различной интенсивности и продолжительности наблюдаются почти ежегодно.

В узком понимании *засуха – это агрометеорологическое явление, вызывающее резкое несоответствие между нормальной потребностью растений во влаге и её фактическим поступлением из почвы.*

*Суховей – это ветер (силой 5 м/с) при высокой температуре воздуха ( $> 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), низкой относительной влажности воздуха ( $< 30 \%$ ) и большом недостатке насыщения влагой воздуха ( $20 - 22 \text{ гПа}$ ), вызывающий угнетение или гибель растений.*

От засух и суховеев необходимо отличать *засушливые явления – отдельные гидрометеорологические явления или их сочетания, которые обуславливают временное угнетение растений (и животных) от недостатка влаги.* Например, отсутствие осадков при жаркой и ветреной погоде, что при достаточных запасах почвенной влаги приводит к потере тургора в тканях растений только в дневные часы; при наступлении ночной прохлады тургор восстанавливается.

Различают три типа засух: *атмосферную, почвенную и атмосферно-почвенную.*

**Атмосферная засуха** – это длительная аномально сухая погода с повышенными температурами воздуха, приводящая к

истощению запасов почвенной влаги, резкому снижению влажности воздуха; обычно предшествует наступлению почвенной засухи.

**Почвенная засуха** – это иссушение почвы, в первую очередь ее корнеобитаемых горизонтов, уменьшающее влагообеспеченность растений, вызывающее их угнетение, задержку роста, снижение продуктивности посевов, в экстремальных случаях – гибель растений. Почвенная засуха является следствием развития атмосферной засухи, суровая при отсутствии орошения сельскохозяйственных угодий.

**Атмосферно-почвенная засуха** – это сочетание условий, характеризующих атмосферную и почвенную засуху, наиболее опасный для посевов тип засухи.

По интенсивности различают засухи: *слабые, средние, сильные (интенсивные) и очень сильные (очень интенсивные)*. Их количественные характеристики отражают в основном локальные условия, поэтому могут использоваться в практической работе только в тех районах, для территории которых они установлены.

По территориальному признаку засухи делят на: *локальные* (охватывающие до 10 % посевной площади), *обширные* (11 – 20 %), *весьма обширные* (21 – 30 %), *чрезвычайные* (31 – 50 %), *катастрофические* (более 50 %), называемые также в зарубежной литературе *континентальными*.

Засухи различают также по времени их наступления: *весенняя засуха, летняя, осенняя, зимняя*, общими признаками которых являются недостаточные запасы влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы (или полное их иссушение), сухие ветры и повышенные температуры по сравнению со средними многолетними сезонными её значениями.

### 15.5. Основные методы оценки засух

Учёные различных специальностей предложили различные методы количественной оценки засух, суровеев и засушливых явлений исходя из своей профессиональной ориентации. Ряд методов предложен синоптиками, климатологами, агрометеорологами, физиологами растений, почвоведками и агрономами. Подавляющее большинство известных критериев, выражающих засуху – это отношения, выражающие «приход – расход» влаги. В приходной части (числитель): влага в виде суммы осадков за различные периоды вегетации, начальные запасы влаги в почве, радиационный баланс; в расходной части: величины испаряемости, эвапотранспирация,



температура воздуха, дефицит влажности воздуха, затраты тепла на испарение годовой суммы осадков и т.п. с соответствующими эмпирическими коэффициентами.

Приведём только некоторые методы оценки, содержащие различные количественные критерии и некоторые примеры их расчёта.

Интенсивность засухи прошедших вегетационных периодов оценивают по критериям (табл. 15.6).

Таблица 15.6

**Количественные характеристики интенсивности засух**

Максимальная температура воздуха, °С	Дефицит влажности воздуха в 13 ч, гПа		
	27 – 40	41 – 52	53 – 80
≤ 30	Средняя	Средняя	–
31 – 35	Средняя	Сильная	–
36 – 40	Сильная	Сильная	Очень сильная
> 40	Очень сильная	Очень сильная	Очень сильная

Для Европейской территории России (по А. И. Руденко) интенсивность засухи можно оценивать по температуре воздуха и количеству осадков. *Очень сильная засуха* возникает в условиях, когда за вегетационный период количество выпавших осадков составляет менее 40–50 % средней многолетней величины, а средняя температура воздуха превышает норму на 1,8–3,8 °С при количестве засушливых декад 4,5–5,4. *Сильная засуха* оценивается в условиях, когда сумма осадков за вегетационный период составляет 62–70 % нормы, при температуре воздуха на 2,1–2,3 °С выше нормы, наблюдаемые в течение 3,5–4,2 засушливых декад. При средней засухе сумма осадков составляет 69–93 % от нормы, при температуре воздуха выше нормы на 1,1–2,2 °С в течение 2,8–3,2 засушливых декад.

Надёжным критерием оценки засушливости периода является количество продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. По данным М. С. Кулика снижение запасов влаги в слое 0–20 см до 19–10 мм характеризует *засушливый период*. При запасах менее 10 мм в этом слое начинается почвенная засуха. Если в межфазный период кущение – молочная спелость зерновых культур в течение трёх декад подряд запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см составляют 10 мм, то наступает *средняя засуха*; при длительности такого периода 4–5 декад – *сильная засуха*.

Снижение запасов влаги в слое 0 – 100 см до 60 мм означает *очень сильную засуху*.

Удобным показателем для оценки атмосферных засух за многолетний период на больших территориях является гидротермический коэффициент (ГТК Селянинова), представляющий относительный (безразмерный) показатель увлажненности территории. Он определяется отношением суммы осадков ( $R$ ) в мм за период со средней суточной температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  к сумме средних суточных температур воздуха ( $\Sigma t$ ) за этот же период, уменьшенной в 10 раз (что весьма близко характеризует испаряемость):

$$\text{ГТК} = \Sigma R / 0,1 \Sigma t. \quad (15.3)$$

Показателем *очень сильной засухи* является ГТК, равный величине 0,3 и менее, показатель *сильных засух* – от 0,31 до 0,6; *средних засух* – от 0,61 до 0,8; *слабых засух* – от 0,81 до 1,0.

Для оценки атмосферно-почвенных засух Е. С. Уланова наряду с осадками и температурой воздуха использовала данные о запасах продуктивной влаги и коэффициент увлажнения  $K$ , с помощью которого можно проводить оценку влияния этого типа засух на урожайность зерновых культур:

$$K = W_{(0...100)} + \Sigma R_{\text{май-июнь}} / \Sigma t_{\text{май-июнь}}, \quad (15.4)$$

где  $W_{(0...100)}$  – запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы во время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной;  $\Sigma R$  – сумма осадков за май – июнь, мм;  $\Sigma t$  – сумма средних суточных температур воздуха за май – июнь. Зависимость средней областной урожайности озимой пшеницы (ц/га) от коэффициента  $K$  для условий Северного Кавказа и Поволжья представлена в табл. 15.7.

Таблица 15.7

**Значения коэффициента увлажнения ( $K$ )  
и соответствующая им урожайность озимой пшеницы**

Коэффициент увлажнения	Интенсивность засухи	Урожайность, ц/га
$K < 15$	Очень сильная	8...10
$15 \leq K < 20$	Сильная	10...15
$20 \leq K < 25$	Средняя	15...20

Некоторые авторы считают, что надёжным показателем интенсивности засухи является снижение урожайности зерновых культур по сравнению со средним многолетним значением конкретного

сорта и культуры. А. В. Процеров предложил следующие показатели засухи: *очень сильная* – снижение урожайности более 50 %, *сильная* – снижение от 20 до 50 %; *средняя* – снижение на 20 %.

Стандартная гидрометеорологическая, агрометеорологическая (включая спутниковые данные) и климатологическая засуха, получаемая в подразделениях Росгидромета, является основой для мониторинга засух и засушливых явлений. Большую роль в ежеднековой оценке агрометеорологических условий, складывающихся с апреля по сентябрь, выполняет Центр мониторинга засух, функционирующий в ФГБУ «ВНИИСХМ» Росгидромета (г. Обнинск, Калужская область) по решению Межгосударственного Совета стран СНГ. Анализ комплекса информации, поступающей от наблюдательной сети станций, позволяет заблаговременно оценивать вероятность развития этих опасных природных явлений. Информация о вероятности наступления засухи регулярно передается специалистам сельского и водного хозяйства для принятия управленческих решений и хозяйственных мер по сокращению возможного ущерба от засухи.

Феномен засухи настолько сложное явление, что до сих пор в мире не существует надежных методов её прогнозирования.

### 15.6. Методы оценки суховеев

В основу определения явления суховея положено сочетание различных погодных условий, фиксируемых в дневное время (13 ч): высокая температура воздуха, низкая относительная влажность воздуха и скорость ветра. Агрометеорологическую сущность суховеев и степень повреждения ими сельскохозяйственных культур выявила Е. А. Цубербиллер. По её мнению, надёжными показателями суховеев являются *дефицит влажности воздуха* и *скорость ветра*, усиливающая их воздействие на растения. Это происходит благодаря непрерывному продуванию травостоя, в результате которого повышается воздухообмен в среде растений, увеличивающий их транспирацию и испарение с поверхности почвы. Высокая испаряемость при очень интенсивных суховеях обуславливает испарение более 8 мм в сутки (или 80 т воды с 1 га). Степень повреждения посевов суховеями в большой мере зависит также от продолжительности этого явления и от величины запасов продуктивной влаги в корнеобитаемых слоях почвы. Причиной повреждения растений суховеями является несоответствие между фактическим расходом влаги и физиологической

потребностью в ней растений, в результате которой происходит нарушение их водного баланса, так называемые явления «захвата» и «запала» зерна. При большом недостатке влаги в почве и высоком дефиците влажности воздуха при его высоких температурах (38–40 °С) увеличение интенсивности транспирации оказывается невозможным, растения начинают завядать, и происходит запал зерна. Согласно исследованию Е. А. Цубербиллер, критические значения дефицита насыщения водяного пара для зерновых культур, вызывающие повреждение растений при различных запасах влаги в почве, приведены в табл. 15.8.

Таблица 15.8

**Критические значения дефицита насыщения и запасов влаги в почве для зерновых культур**

Характер повреждений	Критические значения дефицита насыщения, гПа	Запасы продуктивной влаги (мм) в слоях почвы	
		0–20 см	0–100 см
Лёгкое снижение тургора	20	< 20	< 100
Скручивание листьев	26	< 10	80...90
Значительное скручивание листьев	33	10–15	70–80
Пожелтение листьев	33	< 10	< 50
Подсыхание листьев	40	0–5	< 50
Очень сильное подсыхание листьев	40	0–5	< 35
Побеление колосовых чешуй и захват зерна	40	< 10	< 35

Е.А. Цубербиллер в качестве показателя интенсивности суховея и степени повреждения растений использовала *эвапорометрический<sup>1</sup> коэффициент*  $K_э$ . Этот коэффициент выражает отношение фактического испарения с естественной поверхности поля  $E_ф$  (мм) к испарению с водной поверхности  $E_0$  (испаряемости, мм):

$$K_э = E_ф / E_0. \quad (15.5)$$

Детальные полевые и лабораторные исследования, выполненные Е. А. Цубербиллер, позволили выявить критические условия,

<sup>1</sup> От латинского слова *эвапорометр* – испаритель (Российский гидрометеорологический словарь. Том III. С. 192. 2009; Том I. С. 332. 2008.

вызывающие повреждения зерновых культур в период засух и суховеев (табл. 15.9).

Таблица 15.9

**Агрометеорологические показатели суховеев  
и степень повреждения зерновых культур**

Суховеи	$E_0$ мм/ сут	Дефицит насыщения вод. пара (гПа) в 13 ч при скорости ветра (м/с)		Запасы продуктивной влаги (мм) в различных слоях почвы			$K_s$	Характеристика степени повреждения растений
		< 10	≥ 10	0–20	0–50	0–100		
Слабые	3–5	20–32	13–27	≤ 20	≤ 50	≤ 80	0,4–0,4	Легкое снижение тургора
Средние	5–6	33–39	28–32	≤ 10	≤ 30	≤ 50	0,3	Значительное снижение тургора листьев, их скручивание, пожелтение, подсыхание. Захват зерна через 3–5 суток
Интенсивные	6–8	40–52	33–45	≤ 10	–	≤ 30	0,2–01	Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зерна через 2–3 суток
Очень интенсивные	> 8	≥ 53	≥ 46	0	–	≤ 30	0,2–01	Быстрое и сильное повреждение вегетативной массы, захват зерна через 1–2 суток

**15.7. Методы защиты от суховеев**

В практике сельскохозяйственного производства применяют различные меры защиты от суховеев, включая уже описанные методы защиты от засух в разделе 16.6. Все методы направлены на устранение или снижение несоответствия между потребностью посевов во влаге и фактической влагообеспеченностью растений, осуществляемой с помощью обработки почвы, орошения, снегозадержания, накопления талых весенних вод, полезащитного разведения, варьирования сроками посева сельскохозяйственных культур, мульчирования почвы и т. п. В качестве примера приведём результаты исследования М. С. Кулика о влиянии на величину урожайности зерна овса различных влагонакопительных агротехнических приемов (табл. 15.10).

Таблица 15.10

**Влияние агротехнических влагонакопительных приёмов на величину урожайности овса**

Агротехнические влагонакопительные приёмы	Урожайность зерна, т/га
Зяблевая вспашка поперёк склона	1,65
Зяблевая вспашка плюс снегозадержание	1,98
Зяблевая вспашка плюс снегозадержание, плюс задержка талых вод	2,45
Зяблевая вспашка плюс снегозадержание, плюс задержка талых вод, плюс внесение минеральных удобрений	2,67

Таким образом, повышение общей культуры земледелия, включая успехи селекционной работы, применение агротехнических приёмов по задержанию, накоплению, сохранению и рациональному использованию запасов почвенной влаги, является эффективным средством защиты от засух и суховеев.

**15.8. Сильные ветры, пыльные бури и ветровая эрозия почвы. Критерии оценки**

*Ветер* – это движение воздуха относительно земной поверхности, возникающее из-за неравномерного горизонтального распределения атмосферного давления. В системе Росгидромета к опасным ветрам относят те, скорость которых превышает 15 м/с, к особо опасным – более 20 м/с (табл. 15.11).

Таблица 15.11

**Классификация опасности ветров (баллы) по величине максимальной скорости, м/с (Атлас природных и техногенных опасностей в Российской Федерации, 2005)**

Степень опасности сильных ветров, балл	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Максимальная скорость ветра, м/с	< 20	20–26	26–30	30–35	35–42	42–49	49–58	59–70	> 70

Наибольшая повторяемость чрезвычайных ситуаций, вызванных сильными ветрами, отмечается на Северном Кавказе, в центре Европейской части России и в Западной Сибири, на открытых степных просторах. Для оценки силы (скорости) ветра пользуются обычно следующими критериями, значения которых несколько

варьируют в зависимости от конкретных природных условий: *слабый* – < 4 м/с; *умеренный* – 5–8 м/с; *средний* – 9–13 м/с; *сильный* – 14–20 м/с; *очень сильный* – 21–25 м/с;  $\geq 26$ –30 м/с.

Для сельскохозяйственных полей большое значение имеет не только скорость ветра, но также продолжительность и повторяемость ветра в конкретной местности.

*Пыльные бури* – это перенос взвешенных в воздухе большого количества мелких частиц почвы и грунта умеренным или сильным ветром (10–20 м/с и более) на большие расстояния. Наибольшая повторяемость пыльных бурь наблюдается весной и летом, значительно реже – зимой. Возникновение и развитие пыльных бурь связано с длительными периодами без осадков и зависит не только от скорости ветра, но и от механического состава почвы, иссушения её верхних слоёв.

Пыльные бури наносят трудно поправимый ущерб пахотным землям, поскольку на восстановление 1 м почвы в естественных условиях требуется 250–300 лет. Пыльным бурям особенно подвержены земли, не занятые посевами, не защищённые лесными позахватными полосами.

Установлено, что под воздействием ветра скоростью 10 м/с перенос почвы (почвенных агрегатов) размером 0,5–1,0 мм составляет 165 см; при диаметре агрегатов > 3 мм перемещение за 3 мин составляет 100 см, а при их размерах 10 мм – всего 30 см. Следовательно, чем крупнее почвенные агрегаты, тем меньше такая почва подвергается ветровой эрозии<sup>1</sup> (табл. 15.12).

Таблица 15.12

**Скорости ветра, при которых начинается ветровая эрозия различных по механическому составу почв**

Механический состав почвы	Скорость ветра (м/с) на высоте 15 см от поверхности земли
Песчаная	2–3
Супесчаная	3–4
Легкосуглинистая	4–6
Тяжелосуглинистая	5–7
Глинистая	7–9

<sup>1</sup> Ветровая эрозия (или дефляция, выдувание) – это процесс разрушения верхних слоёв почвы и подстилающих, коренных пород ветром, перемещения продуктов разрушения и их переотложения на других территориях.

Дальность переноса частиц почвы при пыльных бурях зависит от скорости ветра, размеров переносимых частиц, состояния поверхности почвы и варьирует от десятков метров до 1,5 – 2,0 км. Основная масса твердых частиц (85 – 97 %) переносится ветром на высоте 10 см над поверхностью почвы. Площадь, покрываемая пылью, поднятой бурей, зависит от мощности процесса в околоземном слое воздуха, его продолжительности и состояния подстилающей поверхности. В экстремальных случаях она достигает десятков тысяч км<sup>2</sup>.

Эффективными мерами защиты сельскохозяйственных полей от ветровой эрозии являются: рациональные приёмы безотвальной обработки почвы, внесение органических удобрений, орошение, чередование высеваемых культур, кулисные пары с посадкой высокостебельных растений, сохранение стерни после уборки урожая и т. п. Наиболее эффективным приёмом защиты посевов является посадка древесно-кустарниковой растительности – многолетних ветрозащитных (полезащитных) полос.

### **15.9. Сильные ливневые дожди, переувлажнение почвы и водная эрозия**

Ливневые дожди выпадают из кучево-дождевых облаков и охватывают, как правило, небольшие площади. *Интенсивность осадков* – это количество осадков, выпадающих за единицу времени; расчёты обычно проводятся за 1 мин. Средняя суточная интенсивность осадков за какой-либо выбранный промежуток времени вычисляется как среднее количество осадков, выпавшее в сутки с осадками.

В Нечерноземной зоне РФ сельскохозяйственные посевы нередко страдают от переувлажнения почвы. Это связано не только с преобладанием количества осадков над величиной эвапотранспирации, но и с особенностями почвенного покрова, строением рельефа, с неглубоким залеганием грунтовых вод. Дерново-подзолистые и подзолистые почвы могут быть переувлажнены в течение длительных периодов, особенно на пониженных и выровненных местах. Кроме этого, сильные ливни вымывают питательные вещества из корнеобитаемых горизонтов почвы.

Опасным агрометеорологическим явлением для сельскохозяйственных культур является длительное *переувлажнение почвы*, наблюдаемое при среднем содержании влаги более 60 – 80 % полной влагоёмкости в слое 30 – 50 см в период вегетации посевов. Критерием этого ОАЯ являются условия, когда в вегетационный



период (особенно в период уборки урожая) почва на глубине 10–12 см по визуальной оценке увлажнённости характеризуется липким или текучим состоянием не менее 20 суток подряд. На тяжелосуглинистых почвах потери урожая в результате переувлажнения почвы достигают: для картофеля 56–84 %, для зерновых культур 32–48 %, многолетних трав 24–36 %.

Интенсивные, затяжные и ливневые дожди в сочетании с сильными ветрами вызывают опасное явление – *полегание посевов*, наблюдаемое на Европейской части России на 20–30 % посевных площадей, а в отдельные годы – до 80 %. В таких условиях работа уборочных агрегатов затрудняется, а их производительность снижается, что приводит к затягиванию уборочного процесса. Полегание зерновых культур, вызванное неблагоприятной погодой, приводит к большим потерям урожая зерна (до 25–30 %), связанным с неполноценным наливанием зерна и потерями при уборке урожая. В Нечерноземной зоне полегание зерновых культур под влиянием непогоды наблюдается часто: озимая пшеница в 3–4 годах из 10, ячмень – в 4–5 и рожь – в 5–7 годах.

При интенсивном и продолжительном дожде полегание зерновых культур вызывается *кинетической энергией*<sup>1</sup> капель воды и потоку возможно даже при небольшом ветре. По данным А. Д. Пасечнюка, при запасах влаги в полуметровом слое почвы 0–50 см менее 60 мм через декаду после фазы «выход в трубку», вероятность полегания очень мала. При запасах влаги 100–110 мм создается высокая опасность полегания. Степень полегания культур зависит от количества осадков, выпавших за одни сутки и от их интенсивности. При слабой интенсивности дождя (0,05–0,15 мм/мин) и большом количестве осадков (30–35 мм) полегание отсутствует и оценивается в 5 баллов. При интенсивности осадков (0,20–0,30 мм/мин и более) и незначительном количестве осадков (10–20 мм) наблюдается среднее и сильное полегание, оцениваемое в 4–3 балла. Наконец, интенсивные и значительные осадки вызывают сильное и очень сильное полегание: от 3 до 1 балла (рис. 15.3).

Агротехническими приёмами удается несколько снизить отрицательные последствия полегания. Это – посев сортов зерновых

---

<sup>1</sup> Кинетическая энергия – это энергия движения. Измеряется работой, которую совершает тело при его торможении до полной остановки. Эта энергия материальной точки (в данном случае – капли воды) выражается величиной  $mV^2/2$ , где  $m$  – масса и  $V$  – числовая величина скорости (по С. П. Хромову, Л. И. Мамонтовой, 1974).

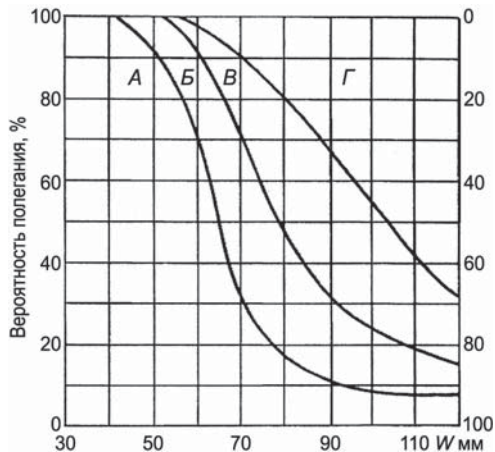


Рис. 15.3. Вероятность полегания посевов ячменя при различных запасах продуктивной влаги  $W$  (мм в слое почвы 0–50 см через декаду после наступления фазы выхода в трубку. А – отсутствие полегания; Б – слабое полегание; В – среднее полегание; Г – сильное полегание (по А.Д. Пасечнику, 1974)

культур, наиболее устойчивых к полеганию, и обработка посевов специальными химическими препаратами – *ретардантами*, тормозящими рост (удлинение стебля) и придающими растениям устойчивость к полеганию. Широко применяется синтетическое вещество *хлорхалинхлорид* (или *тур*) и другие.

*Водная эрозия* – это процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоёв почвы и подстилающих пород дождевыми и тальными водами, перемещение продуктов разрушения и их переотложение. На интенсивность эрозионных процессов влияют: степень выравненности полей, интенсивность и продолжительность осадков или таяния снега, рельеф местности, в частности крутизна горных склонов, степень их облесённости или распашки и т. п. На Европейской части страны водной эрозии подвержены территории Среднерусской и Ставропольской возвышенностей, Центрально-Черноземного района (Воронежской, Белгородской и Липецкой областей).

Для борьбы с водной эрозией проводят агротехнические работы. На эрозионно опасных полях высевают многолетние травы, пожнивные и плодовые культуры; обработка почвы проводится поперёк склонов, т. е. перпендикулярно к направлению стока воды; на склонах оврагов и холмов высаживают кустарники и деревья, закрепляющие их своими корневыми системами и т. п.

Проводят также инженерные работы по механическому закреплению склонов, созданию местных водохранилищ, а также сложные гидротехнические сооружения – селеулавливающие плотины и др.

### 15.10. Град и защита посевов от градобития

*Град* – это осадки, выпадающие в тёплое время года из кучево-дождевых облаков в виде частичек плотного льда различных размеров. Выпадение града на посевы сельскохозяйственных культур, плантации плодовых деревьев, винограда, табака, чайного листа может нанести значительный и даже непоправимый урон, называемый *градобитием*. Ущерб, наносимый посевам и плантациям, зависит не только от размера градин, но и от плотности и продолжительности их выпадения на единицу площади.

Град образуется в средней части облака при сильных тёплых восходящих потоках воздуха (конвекция) со скоростью 15–20 м/с в развитых мощных внутримассовых или фронтальных кучево-дождевых облаках, высота которых достигает 12–16 км, а горизонтальная протяжённость составляет 3 км и более. В таких облаках формируется зона повышенной водности (20–30 г/м<sup>3</sup>). При температуре воздуха на верхней границе облака -20...-25 °С крупные капли, поднятые восходящими потоками воздуха, замерзают и образуют зародыши градин. Зародыши быстро увеличиваются при слиянии с другими переохлаждёнными каплями, поступающими с восходящими потоками воздуха. Зона облака, где происходит рост градин, называется *градовым очагом*.

Рост градин продолжается до тех пор, пока скорость их падения не превысит скорость восходящего потока воздуха, после чего они устремляются к земле. Процесс выпадения града развивается лавинообразно, продолжительность его, как правило, составляет 5–10 мин, редко – более продолжительное время. Град выпадает обычно полосами: от сотен метров до 3–5 км шириной и до 15–20 км длиной. При мощном развитии градовых процессов зона градобития, благодаря движению облачных масс, измеряется десятками квадратных километров.

В качестве борьбы с градобитиями применяют различные технические методы, называемые *активными воздействиями на градовые облака*. Сущность их заключается в искусственном внесении в зону накопления переохлаждённых капель в облаке больших количеств мельчайших частиц (ядер конденсации) льдообразующих реагентов, обычно твёрдой углекислоты (CO<sub>2</sub>), йодистого серебра

или йодистого свинца. Внесённый в облако реагент создаёт в облаке множество дополнительных ядер конденсации (из 1 г реагента получается около  $10^{12}$  ядер), на которых происходит сублимация водяного пара. В результате содержащийся в облаке запас переохлаждённой воды рассредоточивается среди всех ледяных зародышей градин. Такие градины уже не могут увеличиваться до опасных размеров, а мелкие при выпадении из облака успевают растаять за время их движения через тёплые слои воздуха, лежащие ниже нулевой изотермы. В итоге осадки из градового очага выпадают в виде дождя или мелкого града, как правило, не опасного для сельскохозяйственных культур и животных, находящихся на выпасе.

Технология искусственного засева кристаллизирующего реагента в градовые очаги в облаках заключается в следующем. С помощью радиолокационной техники в кучево-дождевых облаках определяются градовые очаги и траектории их движения. В эти очаги до начала активного естественного процесса образования града с помощью специальных (противоградовых) ракет или снарядов (или аэрозольных генераторов) вносится реагент, засевающий облако множеством новых ядер конденсации. Иногда засев реагентом градоопасных облаков производится самолётами-зондировщиками. Эта работа по защите сельскохозяйственных полей проводится ежегодно специальными противоградовыми подразделениями Росгидромета на площади от двух до трёх миллионов гектаров в районах, где повторяемость лет с градобитиями составляет более 5 из 10.

### Задание

Выполните расчёты по предлагаемым ниже различным вариантам в табл. 15.13 вероятности наступления заморозков в воздухе и на почве в ближайшую ночь по методу А. И. Михалевского, используя для этого формулы 15.1 и 15.2; табл. 15.4.

Таблица 15.13

#### Исходные данные для решения задач

Данные о погоде	Варианты									
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$t$	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8
$t'$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8
$A$	10	6	2	9	1	8	5	0	6	1

Примечание.  $t$  – температура сухого термометра в 13 ч., °С;  $t'$  – температура смоченного термометра, °С;  $f$  – относительная влажность воздуха, %;  $A$  – облачность, баллы.

Используйте значения коэффициента  $C$ , зависящего от величины относительной влажности воздуха  $f$  из таблицы 15.4.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие явления называются опасными для сельскохозяйственного производства? Перечислите их основные виды.
2. Дайте определение явлению «заморозок». Назовите и охарактеризуйте особенности различных типов заморозков.
3. Расскажите о классификации сельскохозяйственных и плодовых культур по их устойчивости к заморозкам в разные фазы развития растений.
4. Расскажите о методах защиты посевов от заморозков.
5. Дайте определения явлений засухи, суховея и засушливых явлений.
6. Какие типы засух вы знаете? Опишите особенности каждого типа.
7. Опишите основные методы количественной оценки засух, напишите формулы и объясните их физическую сущность.
8. По каким критериям определяют интенсивность засухи?
9. Расскажите о показателе интенсивности суховея – эвапориметрическом коэффициенте.
10. Как влияют засухи и суховеи на состояние посевов и урожайность зерновых культур?
11. Перечислите способы защиты сельскохозяйственных культур от засух и суховея. Объясните их сущность.
12. Объясните явления «сильный ветер» и «пыльная буря». Что такое «ветровая эрозия»?
13. Какие применяются меры борьбы с ветровой эрозией?
14. Как сказывается на посевах влияние сильных ливней? Что такое «водная эрозия» почвы?
15. Какие применяются меры борьбы с водной эрозией?
16. Объясните термин «полегание посевов», в чем опасность этого явления.
17. При каких физических условиях возникают формирование и выпадение града? Объясните термин «градобитие». Расскажите о способах защиты от градобития, в каких регионах производится защита от града. Какова эффективность применяемых способов защиты?

## Глава 16

# МИКРОКЛИМАТ ЛАНДШАФТОВ И ФИТОКЛИМАТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

### 16.1. Основные понятия. Учёт микроклимата в сельскохозяйственном производстве

*Климат* – это характерный для определенной территории (пункта) многолетний режим погоды, обусловленный их географическим положением и осреднённый за период не менее 30 лет. Климат формируется в результате сложных процессов, происходящих в атмосфере: влагооборота, теплооборота и атмосферной циркуляции. Эти климатообразующие процессы в сочетании с географическими условиями определяют особенности формирования климата на конкретной территории (широта и долгота местности, высота над уровнем моря, океанические течения, характер подстилающей поверхности и др.). Под их совместным влиянием формируется климат различных территорий земного шара.

Помимо общего понятия климата (макроклимата), характеризующего крупномасштабные географические зоны, материка и т. п. различают:

- *мезоклимат* (или местный климат) относительно небольших по площади территорий, ландшафтов с однородными условиями, например лесной массив, участок речной долины, часть высотного пояса в горах, городской район и т. п. Особенности местного климата проявляются в слое воздуха, измеряемом сотнями метров и более. В зависимости от местных особенностей климата минимальная температура может изменяться на градусы на расстоянии нескольких десятков метров, вертикальные же градиенты температуры в этом слое имеют резко выраженный суточный ход. Дневные градиенты температуры сменяются ночной инверсией.

- *микроклимат* – это климат приземного слоя воздуха, обычно до высоты 2,0 м над поверхностью почвы небольшой территории, поля, сада, склонов возвышенностей, равнины, обусловленный

различиями в подстилающей поверхности, на которой неодинаково протекают процессы нагревания, охлаждения, увлажнения, высыхания, формирования снежного покрова, его таяния и т. д. (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

- *фитоклимат* – микроклимат растительного покрова и корнеобитаемого слоя почвы;

- *климат почвы* – многолетний тепловой, водный и воздушный режимы почвы, имеющие суточную, годовую и вековую цикличность, складывающуюся под влиянием климата, почвообразующих пород, рельефа и производственной деятельности человека.

Выделение мезоклимата и микроклимата в объекты самостоятельных исследований, обусловленных разными масштабами, отличными от макроклимата, связано с тем, что, во-первых, именно в их зоне протекает значительная часть жизни и деятельности человека, и, во-вторых, они наиболее доступны для изменения в нужном направлении. Особенности мезо- и микроклимата, наблюдающиеся на относительно небольших территориях, под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности – формы рельефа, экспозиции и крутизны склонов, типов почвы, состава и плотности растительного покрова, орошения и т.п. – проявляются в значениях, заметно отличающихся от средних климатических величин основных факторов, характерных для более крупных территориальных единиц. Поэтому стандартные наблюдения относительно редкой сети метеорологических станций не отражают специфику среды обитания растений (и животных) незначительных территорий. Закономерности микроклимата рельефа показаны на схеме (рис. 16.1.).

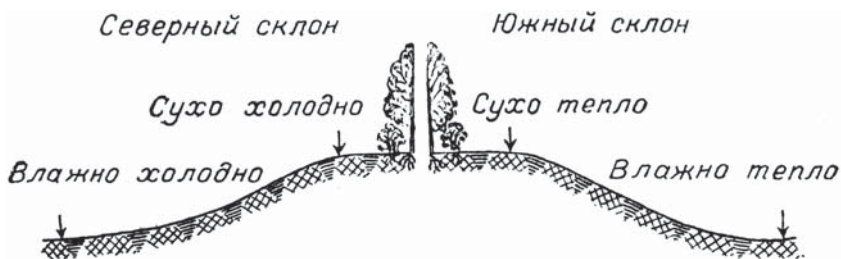


Рис. 16.1. Распределение микроклиматических особенностей по рельефу

Особенно заметны микроклиматические различия в условиях горного, пересечённого и даже всхолмлённого рельефа (рис. 16.2.).



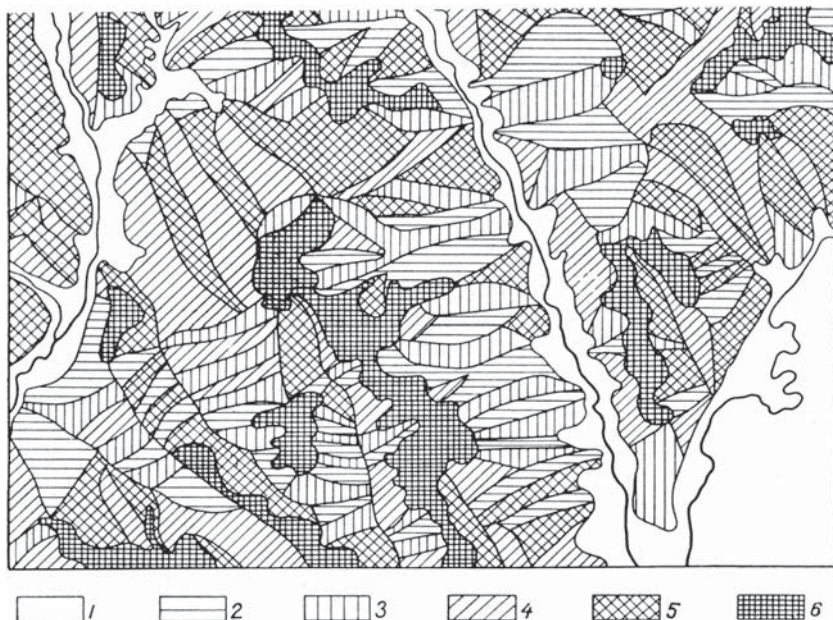


Рис. 16.2. Картограмма распределения склонов разной экспозиции на участке Среднерусской возвышенности:

- 1 – дно долины; экспозиции склонов: 2 – северная, 3 – южная, 4 – западная, 5 – восточная, 6 – плоские водоразделы.

Даже при небольших изменениях поверхности рельефа снегонакопление происходит неодинаково: в понижениях накапливается больше снега, чем на вершинах и наветренных склонах (рис. 16.3.).

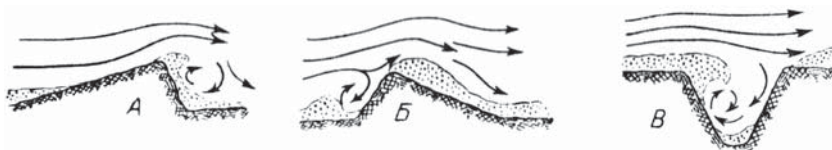


Рис. 16.3. А – пологий наветренный склон, Б – крутой наветренный склон, В – ров с пологими склонами

В тёплый период года распределение влажности почвы по территории зависит не только от количества осадков, но и в большей степени от строения поверхности территории: наветренных склонов, обращённых к влагонесущим потокам, или подветренных (рис. 16.4.).





Рис. 16.4. Картограмма степени увлажнения почвы на участке территории Среднерусской возвышенности:

- 1 – избыточно влажные (до 100 % ПВ); 2 – достаточно влажные (50–60 % ПВ);  
3 – слабозасушливые (40–50 % ПВ); 4 – засушливые (30–40 % ПВ);  
5 – крутые склоны, для которых степень увлажнения не оценивалась;  
6 – водоразделы

Необходимость детального изучения температурного режима почвы вызывается большим разнообразием её типов и особенностями их теплофизических свойств. Средняя месячная температура песчаной почвы в июне на 6–7 °С выше, чем неосушенного торфяника, а различия в температуре песчаной и глинистой почвы достигают 3–4 °С (рис. 16.5.).

Микроклимат формируется под влиянием особенностей рельефа местности, типа и состояния растительного и почвенного

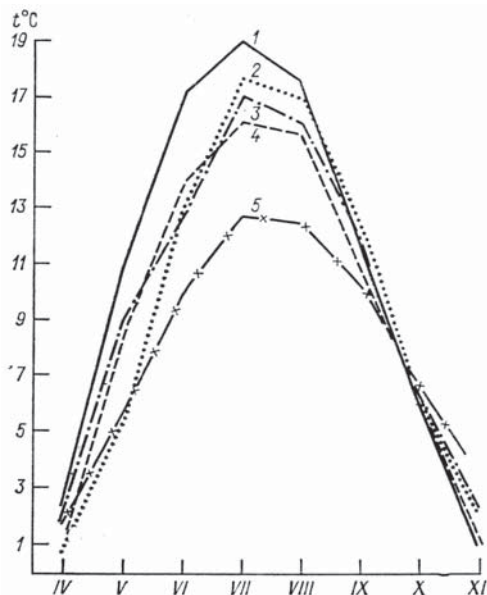


Рис. 16.5. Динамика изменения средней месячной температуры различных типов почв в течение вегетационного периода:

- 1 – супесчаная почва; 2 – торфянистая почва на осушенном болоте;
- 3 – переувлажнённая супесь; 4 – тяжелосуглинистая почва;
- 5 – неосушенное торфяное болото

покровов, наличия и размеров (площадь и глубина) водоёмов и т. п. Днём при малооблачной погоде и слабом ветре различия в термическом режиме разных местоположений определяются особенностями радиационного режима и достигают максимальных величин на уровне деятельной поверхности, а на высоте 1,5–2,0 м от поверхности почвы эти различия сглаживаются за счёт турбулентного перемешивания. Микроклимат изучают методом микроклиматических съёмок на обследуемой территории с целью учёта микроклиматических особенностей географических ландшафтов, полей с возделываемыми посевами (рис. 16.6).

Сущность таких съёмок заключается в одновременном производстве комплекса микроклиматических наблюдений (измерений) в нескольких точках изучаемой территории: на конкретных полях, ландшафтах, в садах, а в условиях пересеченной местности – на различных элементах рельефа. Одним из результатов микроклиматических съёмок является составление микроклиматических карт,

характеризующих особенности микроклимата изучаемой территории. Знание микроклимата сельскохозяйственных угодий позволяет практически использовать один из резервов повышения продуктивности сельскохозяйственного производства без дополнительных материальных затрат. Этот резерв заключается в более рациональном размещении видов и сортов возделываемых культур с учётом их потребности в тепле и влаге, заморозкоопасности различных участков территории, повторяемости неблагоприятных явлений, а также дифференцирования сроков сева и уборки урожая.



*Рис. 16.6. Производство микроклиматических градиентных наблюдений (измерений) на посевах ярового ячменя*

По наблюдениям А. М. Шульгина и его сотрудников (1978), в условиях Западной и Восточной Сибири изменчивость сумм активных температур является основной причиной различий в скорости прохождения отдельных фаз развития растений. Например, в верхних и средних частях склонов (превышение высот более 50 м, уклон более  $10^\circ$ ) сумма температур воздуха за беззаморозковый период, по сравнению с равниной, на 50–150 °С больше, а по сравнению с верхними частями пологих склонов (превышение высот менее 50 м, уклон 3– $10^\circ$ ) – на 150–200 °С. Нижние части склонов, прилегающие части дна широких долин, замкнутые плоские долины и сырые низины по сравнению с ровным рельефом получают меньше тепла на 200–350 °С. Общая схема распределения температуры воздуха ночью в условиях пересечённого рельефа представлена на рис. 16.7.

Хорошо известно, что холодный воздух тяжелее тёплого. Поэтому его потоки устремлены в понижения рельефа. Встречающиеся на его пути древесно-кустарниковые насаждения задерживают часть холодного воздуха, скопления которого к утру способствуют образованию морозобойных участков, показанных на рис. 16.8.

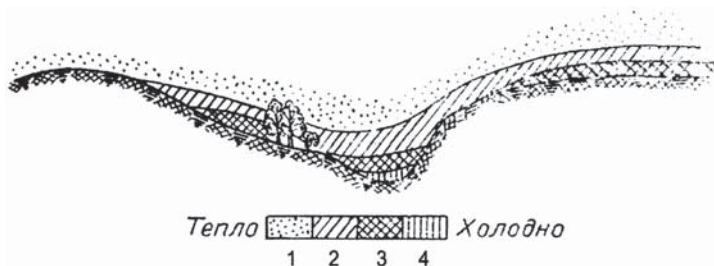


Рис. 16.7. Схема распределения температуры воздуха ночью в условиях пересечённого рельефа:

- 1 — очень тёплая, не заморозкоопасная зона; 2 — относительно тёплая;  
3 — заморозкоопасная; 4 — холодная, очень заморозкоопасная зона.

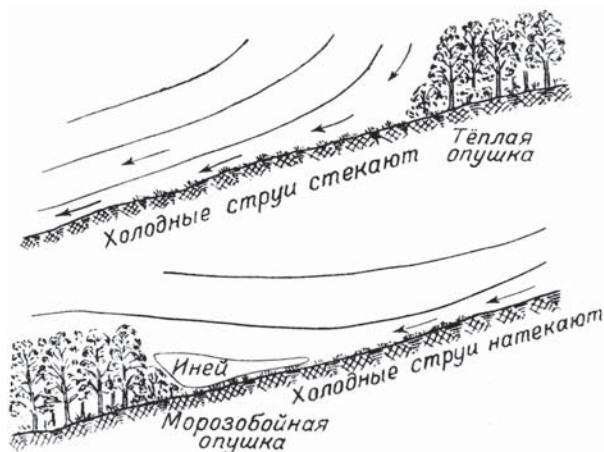


Рис. 16.8. Схема смещения холодных масс воздуха по склону и образования морозобойных участков

В таких местах посадка теплолюбивых растений нецелесообразна. В результате таких различий в термическом режиме продолжительность вегетационного периода растений в различных частях рельефа неодинаковая. В северной зоне Европейской части России в прохладные и увлажнённые годы урожаи большинства зерновых культур в средних частях склонов выше, чем у подножий и в низинах. В засушливые и жаркие годы урожаи зерновых выше в низинах, где складываются лучшие условия увлажнения, чем на положительных частях рельефа. Преимущество склонов южной экспозиции в тепловых ресурсах при достаточном увлажнении

проявляется во все годы. Методика производства микроклиматических наблюдений (измерений) подробно изложена в «Руководстве по изучению микроклимата для целей сельскохозяйственного производства» (1979), поэтому здесь не приводится. Отметим, однако, что для проведения этих наблюдений необходимо руководствоваться основными правилами:

- измерения должны проводиться одновременно в нескольких (по возможности различных) местах или участках изучаемого посева сельскохозяйственных культур или ландшафта;

- измерения проводятся сериями, охватывающими временной период в 36 или 48 ч с дискретностью 3 (4) часа в светлую часть суток и 4 часа – ночью; серии должны проводиться в различные периоды вегетации культур или в период основных фаз их развития;

- измерения проводятся на различных высотах: поверхность земли; 0–20; 0–50; 0–100 (150) и 200 см над уровнем земли;

- на всех пунктах измерения проводятся стандартными приборами: психрометры большой модели, анемометры Фусса (или других моделей), флюгеры, термометры срочные, устанавливаемые на поверхности земли и на всех высотах.

Записи результатов измерения заносятся в полевые книжки. Измерения параметров состояния воздушной среды на высоте 200 см необходимы для сравнительной оценки измеренной величины со стандартными данными ближайшей метеорологической станции. Это позволяет после обработки всех результатов измерений определить величины градиента всех параметров среды обитания растений, по сравнению со стандартными наблюдениями (200 см) на метеорологической станции, а также выполнить расчёты сумм температур, построить микроклиматические карты и т. п.

## **16.2. Пути и методы улучшения микроклимата посевов сельскохозяйственных культур**

В практике сельскохозяйственного производства широко применяются различные методы улучшения мезо- и микроклимата с целью улучшения условий для роста, развития и повышения продуктивности возделываемых культур, природных пастбищных фитоценозов, снижения возможных потерь от неблагоприятных условий. Важное место в улучшении условий быта и трудовой деятельности людей отведено также мероприятиям по улучшению планировки населённых пунктов, их озеленению и обводнению.



Комплекс технических (и агротехнических) мероприятий, направленных на улучшение мезоклимата и микроклимата, в том числе радиационного и теплового режимов сельскохозяйственных угодий, водного и теплового режимов почвы, называется *мелиорацией*. Мелиорация осуществляется путём проведения работ по созданию оросительных систем, осушению заболоченных территорий, посадке полезащитных лесных полос, а также развитию растениеводства в условиях защищённого грунта и т. п.

*Водная мелиорация.* Одним из наиболее древних приёмов улучшения мезо- и микроклимата является орошение, коренным образом изменяющее водный и термический режимы сельскохозяйственных угодий.

Различные виды водной мелиорации особенно широко применяются в странах и регионах с засушливым климатом. В южных регионах России и в сопредельных странах СНГ многие сельскохозяйственные культуры возделываются на орошаемых полях: хлопчатник, люцерна, бахчевые, многие фрукты, теплолюбивые зерновые культуры и т. п. Крупномасштабное орошение возможно только при развитии мощного гидротехнического и ирригационного строительства, при правильной эксплуатации и режимов водохранилищ, современных, технически оснащённых оросительных каналов, водораспределительных гидроузлов и др. Однако при орошении неизбежны непроизводительные потери влаги путём испарения с открытой поверхности водоёмов (особенно в условиях жаркого климата), поверхностного стока (при ливневых осадках) и фильтрации воды в глубокие горизонты почвогрунтов при поливах по бороздам или напуском (например, чеки на рисовых полях). Наиболее прогрессивной и экономичной формой орошения признано *капельное орошение* – нормированная подача воды к растениям по специально проложенным по земле трубкам. Нормы расхода воды рассчитывают с учётом агрогидрологических свойств почвы, потребностей выращиваемых культур во влаге. Этот способ позволяет снизить расходы дорогостоящей пресной воды на 30 %, по сравнению с расходом при традиционных методах орошения по бороздам и напуском.

В условиях России эффективным методом повышения весенних влагозапасов в почве является *снегозадержание*. Приёмы снегозадержания различны: сохранение на зиму стерни зерновых культур и высокостебельных культур (кукуруза, подсолнечник и др.), снегопахота, установка снегозадерживающих щитов, полезащитные лесные полосы и др. Подробнее о снежных мелиорациях будет рассказано в главе 8 настоящего Практикума.

Все методы обработки почвы способствуют улучшению микроклиматических условий в её верхних горизонтах. Например, при рыхлении почвы улучшаются условия аэрации и теплообмена в пахотном горизонте, а при вспашке повышается температура верхних горизонтов почвы на 3–5 °С. Эти традиционные способы обработки почвы способствуют лучшему сохранению влаги благодаря разрушению почвенных капилляров – основных проводников водяного пара.

Полезационное лесоразведение среди посевов, в том числе посадки и посев древесно-кустарниковых форм в засушливых регионах, лесомелиоративные мероприятия на сильно эродированных почвах, а также на засушливых горных склонах существенно смягчают мезоклимат и микроклимат, способствуют повышению продуктивности фитоценозов и сельскохозяйственных культур, выращиваемых в зоне фитомелиорации<sup>1</sup>.

*Тепловая мелиорация* является составной частью общей проблемы мелиорации сельскохозяйственных полей, направленной на улучшение физических условий среды обитания растений (радиационного, теплового, водного, солевого, газового и других режимов). Под *тепловой мелиорацией* понимают изменение теплового режима в среде обитания растений – корнеобитаемом горизонте почвы и в приземном слое воздуха. Успех тепломелиоративных мероприятий зависит от климатических особенностей и погодных условий, которые могут приводить к улучшению или к ухудшению теплового режима (Куртнер Д. А., Чудновский А. Ф., 1979).

Эффективным средством регулирования теплового режима почвы является *мульчирование*, т. е. нанесение на поверхность почвы специальных материалов: соломы, листьев, песка, мелкого гравия, опилок, различных красок, плёнок и т. п. Наиболее перспективными из них считаются светопрозрачные полимерные плёнки, обладающие высокими интегральными коэффициентами пропускания. В результате мульчирования на границе почва – воздух изменяются условия тепло- и массообмена, определяющие рост и развитие растений. Применение других средств тепловой

---

<sup>1</sup> Фитомелиорация – система агротехнических, инженерных и хозяйственных мероприятий по улучшению природной среды путём регламентированного использования растительных сообществ, создания лесополос с целью сохранения и обогащения биоценозов, повышения количества и качества полезной человеку продукции (Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии, 2002).

мелиорации почв основано на изменении микрорельефа поверхности. К ним относятся такие агротехнические приёмы, как выращивание картофеля на гребнях грядок, возделывание садовых культур на земляных валах, виноградников – в траншеях. Для регулирования теплового режима почвы известны приёмы применения полимерных пенообразователей, образующих устойчивый теплозащитный слой. В качестве эффективного тепломелиоративного средства при борьбе с заморозками применяют распыление воды (при высокой дисперсности капель), а также активное перемешивание приземного слоя воздуха с помощью турбореактивных двигателей. При биологическом способе тепловой мелиорации источником тепла является биотопливо (навоз, растительные остатки и т. п.), которое равномерно распределяется под пахотным горизонтом почвы. В настоящее время в арсенале тепловой мелиорации почв находится большое разнообразие агротехнических и инженерных методов, относящихся к пяти основным типам:

- I тип – нанесение на поверхность почвы материалов с иными теплофизическими свойствами, обеспечивающими хороший тепловой контакт между почвой и такими материалами, как мульчирование почвы красителями, применение теплозащитных укрытий из пенистых, сыпучих и волокнистых материалов;

- II тип – изменение параметров окружающей среды (применение воздушонагревательных и воздушодувных установок, инфракрасных излучателей);

- III тип – использование укрытий из тонких полупрозрачных оболочек, не состоящих в тепловом контакте с поверхностью почвы (мульчирование почвы плёночными материалами);

- IV тип – целенаправленное изменение теплофизических характеристик почвы (поверхностное пескование торфяников, рыхление, уплотнение верхних слоев почвы, орошение, изменение уровня грунтовых вод и т. п.);

- V тип – применение источников тепла внутри почвы.

Тепловой режим почвы определяется условиями теплообмена на поверхности почвы, начальным распределением температуры в почве, теплофизическими характеристиками почвы и действием внутренних источников тепла (мероприятия V типа). Мероприятия IV типа оказывают влияние на тепловой режим почвы через изменения теплофизических характеристик почвы. Условия теплообмена на поверхности почвы зависят от метеорологического режима приземного слоя атмосферы, характеристик поверхности почвы и её микрорельефа, агротехники, структуры посевов и от влияния



мероприятий I, II, и III типов, т. е. определяются совокупностью большого числа факторов. В специальной агрофизической литературе, посвящённой тепловой мелиорации почв, приведены современные динамико-статистические модели, позволяющие решать широкий спектр инженерных задач при строительстве культивационных сооружений, для создания необходимых агрометеорологических условий возделываемым культурам защищённого грунта. В настоящем пособии физико-математические основы моделирования «климата под стеклом» не приводятся. В последние годы в России и в ряде стран умеренного климата растениеводство защищённого грунта в промышленных масштабах получает всё большее развитие: культивационные сооружения применяются в цветоводстве, овощеводстве ранних культур, в селекционной работе и в семеноводстве.

### **16.3. Микроклиматические градиентные измерения и наблюдения**

Микроклиматические наблюдения проводятся на сельскохозяйственных полях с посевами среди растений, а также среди естественных ландшафтов с целью выявления особенностей формирования водно-теплового режима в среде растений, в том числе в различных условиях рельефа местности. Для изучения микроклимата (фитоклимата) посевов сельскохозяйственных культур или естественного растительного покрова применяется *метод градиентных наблюдений*. Напомним, что *градиентом называется физическая мера возрастания или убывания какой-либо физической величины на единицу длины (высоты)*. Его сущность заключается в измерениях основных метеорологических элементов – температуры и влажности воздуха, скорости ветра, давления и др., производимых одновременно на разных высотах в приземном слое воздуха или в среде растений. Стандартные вертикальные градиентные наблюдения производятся приборами, закреплёнными на нескольких высотах. Например, в среде посевов измерения температуры и влажности воздуха проводят психрометрами большой или малой модели, измерения скорости ветра выполняются анемометрами. Такие измерения проводятся обычно на высотах: 0–20, 0–50, 0–100, 0–150 или 0–200 см. Для этого приборы устанавливают на специальных градиентных мачтах, на заданных высотах. В условиях холмистого и горного рельефа вертикальные градиенты этих величин рассчитываются по высотам с шагом 100 м. Установлено, что в среднем вертикальный градиент температуры воздуха с подъёмом вверх на каждые 100 м

составляет от  $-0,6$  °С. Например, если в предгорьях на высоте 500 м над уровнем моря дневная температура воздуха равна  $16$  °С, то в горах, на высоте 2000 м н.у.м. температура окажется ниже на  $9$  °С, т. е.  $7$  °С. Поясним: разница в высотах  $2000 - 500 = 1500$  м, на каждые 100 м температура уменьшается с высотой на  $-0,6$  °С, т. е.  $-0,6 \cdot 15 = -9$  °С; следовательно, температура воздуха на высоте 2000 м будет  $16 - 9 = 7$  °С; а на высоте 3000 м н.у.м. дневная температура воздуха окажется  $1$  °С. Поэтому в высокогорьях даже в летние месяцы сохраняется снежный покров. Горизонтальные градиенты метеорологических элементов рассчитывают с шагом 100 км.

Микроклиматические (фитоклиматические) особенности изменяются в зависимости вида возделываемой культуры, от фазы её развития, состояния, от густоты стояния растений и способа посевов, агротехнических приемов их обработки, способов орошения. Знание этих особенностей позволяет агроному агротехническими мерами создавать оптимальные режимы освещения, влажности и температуры в среде растений для формирования высоких урожаев и высокого качества растениеводческой продукции.

Полевую практику и лабораторно-практические занятия целесообразно проводить подгруппами, по 3–4 человека. В каждой подгруппе назначается ответственный, в обязанности которого входит получение комплекта приборов и возврат их после работы лаборанту кафедры. Обработка результатов измерений, их анализ, формулирование выводов, построение графиков и составление отчёта по практике каждый студент выполняет самостоятельно.

### ***Примерная программа микроклиматических наблюдений***

Учебная полевая практика рассчитана на 3–4 дня.

*Первый день.* Изучают устройство приборов, правила их установки, порядок производства измерений и обработку данных по таблицам и графикам, используя при этом действующие нормативные документы (Наставления, РД, Руководства). Устанавливают приборы в среде растений, не нарушая при этом их естественного состояния (густоты и высоты), не допуская их поломки и вытаптывания. Производят разовые пробные (рекогносцировочные) измерения на выбранных участках опытного или производственного посева. Выполняют контрольные замеры и их записи с указанием даты и времени измерений.

*Второй день.* Выполняют микроклиматические измерения на 2–3 выбранных участках в первый день, не нарушая при этом

состояния растений. Проводят обработку результатов измерений метеорологических величин: по срочным наблюдениям подсчитывают значения за дневные и ночные сроки наблюдений раздельно и их средние величины за сутки.

*Третий день.* Продолжают проведение дневных микроклиматических измерений и обработку результатов всех измерений, составляют сводную таблицу. По полученным данным строят графики хода основных метеорологических элементов. Целесообразно запросить метеорологические данные, полученные на ближайшей метеорологической станции по наблюдаемым элементам в те же сутки, когда выполнялись наблюдения практикантов на своих наблюдательных участках. Проводят сравнительный анализ всех результатов опытных измерений в среде растений (посевов) и стационарных (станционных) измерений.

#### *Задание*

– Подготовьте приборы для производства наблюдений в полевых условиях: барометр-анероид; максимальный, срочный и минимальный термометры; термометр-щуп; анемометр; аспирационный психрометр; переносную походную градиентную мачту для установки на ней приборов; полевую книжку и карандаш для записи результатов измерений.

– Ознакомьтесь с методикой проведения микроклиматических градиентных измерений на полях с посевами сельскохозяйственных культур (Руководство по изучению микроклимата для целей сельскохозяйственного производства, 1979).

– Установите приборы на походной мачте для измерения температуры воздуха и почвы, дефицита влажности (дефицита насыщения) и влажности воздуха, скорости ветра в среде растений на высотах 0–20 и 0–150 (или 200) см; барометр-анероид разместите на поверхности почвы. Установка приборов на высоте 200 см необходима для сравнения данных, полученных при микроклиматических измерениях с аналогичными метеорологическими наблюдениями, выполняемыми на стандартной высоте 2 м на ближайших метеорологических станциях.

– Походные мачты с приборами и наземные средства измерения установите на выбранных наблюдательных участках и закрепите в среде растений их заметными фишками или флажками.

– В условиях выраженного рельефа установите эти приборы на склонах, противоположно экспонированных: северный – южный; юго-западный – северо-восточный и т. п.

– Установите приборы для измерения температуры верхних горизонтов почвы: поверхность почвы и на глубинах 5 и 10 см.

– Проведите измерения по этим приборам на предложенных высотах в течение 2–3 суток через каждые 3 ч в дневное время и через каждые 4 ч – в ночное время; в дневное время визуально отметьте тип облачности и покрытие ею небосклона (в баллах). Все данные запишите в заранее подготовленных таблицах.

– Проведите первичную обработку результатов наблюдений.

– Сравните полученные результаты с данными наблюдений в эти же сроки, выполненные на высоте 0–200 см ближайшей метеорологической станцией.

– Постройте графики изменчивости каждой метеорологической величины в среде растений (по предложенным высотам) по срокам измерений.

– Сформулируйте полученные результаты измерений и анализа данных и включите их в свой отчёт о выполненной практике.

Рассмотрим подробнее каждый из пунктов задания.

#### ***Подготовка приборов к работе***

До начала измерений каждая подгруппа проверяет работоспособность метеорологических приборов и наличие к ним поправок по поверочным свидетельствам или методическим указаниям.

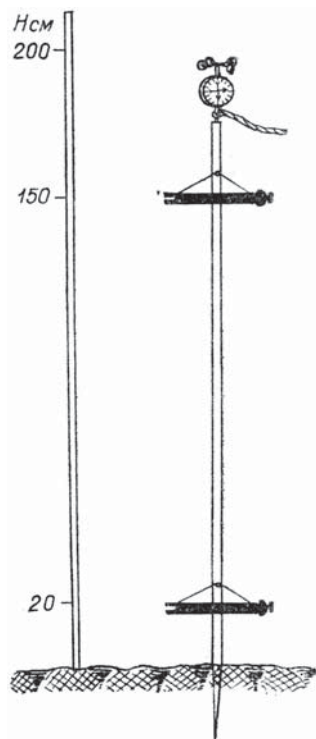
На каждой точке, где будут проводиться измерения, вертикально устанавливают походную мачту для психрометров (рис. 16.9).

Рядом с мачтой определяют площадку для размещения почвенных термометров.

*Психрометр аспирационный АМ-4М.* В комплект прибора входят: психрометр, пипетка с резиновой грушей и зажимом, защита от ветра, паспорт психрометра, поверочное свидетельство к термометрам, футляр. Психрометр с принадлежностями переносят только в закрытом футляре. Перед установкой прибора следует убедиться в чистоте батиста на резервуаре смоченного термометра; загрязнённый батист необходимо заменить. Для смачивания батиста используют только дистиллированную воду. Проверка работы аспиратора проводят путём полного завода пружины вентилятора, обеспечивающего протяжку воздуха со стандартной скоростью 2 м/с. За скоростью вращения барабана следят по риску, нанесённой на нём. Время одного оборота барабана не должно превышать 10 с контрольного времени, указанного в паспорте прибора. Если разность между ними больше, прибор следует заменить. Измерение температуры и влажности воздуха проводят на двух высотах (не менее), предложенных руководителем практики, например, на 20 см (или 50

и 150 см (или 200) от поверхности почвы с использованием походной мачты. Для этого психрометр закрепляют на походной мачте на специальных креплениях или подвешивают его вертикально таким образом, чтобы ртутные (спиртовые) цилиндры термометров находились на предложенных высотах.

*Анемометр ручной МС-13.* Этот прибор, требующий осторожного обращения и защиты от загрязнения, вынимают из футляра только для производства измерений за корпус счётчика оборотов. Следует оберегать вертушку анемометра, установленную на острой игле. Во время выпадения осадков измерения не производятся. Счётный механизм прибора включают и выключают арретиром. Перед установкой следует проверить прочность привязки к арретире шнура, который закрепляют, пропустив через ушки, расположенные рядом. Затем поверяют работу четырёхчашечной вертушки (приёмника) для определения свободного вращения, и, дёрнув за шнур, проконтролировать правильность включения – выключения счётного механизма. Если при вращении крестовина с полушариями приёмника «заедает», прибор следует заменить. Для наблюдений анемометр закрепляют на походной мачте, на заданной высоте. Разрешается также проводить отсчёты по анемометру, держа прибор в вытянутой вверх руке (соблюдая заданную высоту измерения). При этом наблюдатель должен стоять лицом к ветру, а плоскость циферблата должна быть параллельна направлению ветра.



*Рис 16.9. Походная микроклиматическая мачта с установкой на ней аспирационных психрометров на двух уровнях (20 и 150 см) и анемометра, приёмная часть которого должна располагаться на высоте 200 см от поверхности земли. (Примечание: высота установки приборов может быть иной, в зависимости от задания)*

*Термометры для измерения температуры почвы.* Для измерения температуры поверхности почвы используют максимальный и минимальный термометры. Перед установкой проверяют их целостность, отсутствие (наличие) разрывов термометрической жидкости в капиллярной трубке термометров. Проверяют наличие поверочных свидетельств к ним и поправок в методических указаниях.

Термометры устанавливают горизонтально так, чтобы стеклянные резервуары наполовину своей толщины были бы прикрыты почвой. Перед установкой максимального термометра его встряхивают 3–4 раза и размещают на почве с лёгким уклоном в сторону резервуара. У минимального термометра перед установкой следует подвести штифт к мениску спирта, после это поместить его на поверхность почвы строго горизонтально. При жаркой солнечной погоде минимальный термометр не используют во избежание поломки.

Для измерения температуры почвы на глубине 10 см используют *термометр-щуп АМ-6*. Перед его установкой необходимо убедиться в отсутствии разрывов термометрической жидкости (толуола) в капиллярной трубке. Термометр должен быть чистым. Поправки к показанию термометра не вводят. При установке шкалу прибора ориентируют на север, чтобы избежать отрицательного влияния солнечных лучей. Отсчёт показаний по шкале прибора проводят в конце наблюдений, одновременно с отсчётом по термометрам для измерения температуры поверхности почвы.

#### ***Порядок и последовательность проведения измерений***

Непрерывным условием проведения микроклиматических измерений является строгая последовательность проводимых работ и одновременность (синхронность) отсчётов по приборам во всех точках наблюдения, по всем срокам измерений.

1. Вначале измеряют атмосферное давление барометром-анероидом на уровне 20 см. Для этого: а) горизонтально устанавливают анероид, слегка постучав по стеклянной крышке прибора, отсчитывают атмосферное давление с точностью до 0,1 гПа; б) отмечают температуру анероида с точностью до 0,1 °С; в) записывают снятые показания в таблицу.

2. Измеряют температуру и влажность воздуха психрометром на высоте 20 см. Для этого: а) смачивают резервуар правого термометра, обвязанного батистом, используя пипетку с резиновой грушей; б) заводят пружину вентилятора до отказа; в) уложив психрометр горизонтально в гнездо (или повесив его горизонтально) на уровне 20 см, выжидают 3–4 мин; г) по сухому и смоченному термометрам последовательно считывают показания температуры;

д) записывают показания в таблицу. Измерения в такой же последовательности производят на высоте 150 см.

3. Измеряют скорость ветра анемометром. Измерения начинают при включённом счётном механизме прибора, сначала отсчитывают на счётчике число тысяч делений, затем сотен, потом десятков и единиц. Записывают начальное показание счётчика  $K_1$ . После этого устанавливают анемометр на заданной высоте и выжидают 30 с, чтобы вращение вертушки под давлением ветра стало равномерным, и арретиром включают механизм и одновременно – секундомер. Через 100 с счётчик выключают и записывают в той же последовательности конечный результат  $K_2$ . Такое измерение повторяют трижды.

4. Температуру почвы измеряют различными термометрами. Показания максимального термометра снимают, не поднимая его с поверхности земли. После записи показания максимальной температуры стряхивают термометр и снова записывают его показания текущей температуры. Не поднимая минимальный термометр с поверхности почвы, записывают его показания: сначала записывают температуру почвы по мениску, а затем по удаленному концу штифта. Температура почвы, отсчитанная по этому концу штифта, будет минимальной, по мениску – текущей. После записи наблюдений минимальный термометр поднимают резервуаром вверх и выжидают, пока штифт не коснётся мениска спирта, затем устанавливают термометр горизонтально. Измеряют срочную температуру почвы на глубине 10 см с помощью термометра-щупа АМ-6.

5. Интенсивность суммарной, рассеянной и отражённой радиации измеряют альбедометром. Для этого: а) соединяют проводами альбедометр с гальванометром; б) освобождают арретир гальванометра и проверяют правильность подключения приборов; в) устанавливают альбедометр термобатареей вверх; г) устанавливают стрелку гальванометра корректором на 50-е деление шкалы, которое принимают за начало отсчёта (условный нуль); д) определяют облачность на небосводе (в баллах); е) отсчитывают нулевое положение стрелки гальванометра  $N_0^1$  с точностью до 0,1 деления шкалы при закрытой крышке; ж) снимают крышку с термобатарей и через 1 мин делают три отсчёта суммарной радиации:  $N_1, N_2, N_3$  с промежутками в 15 – 20 с; з) поворачивают альбедометр термобатареей вниз и через 1 мин делают три отсчёта отражённой радиации  $N_4, N_5, N_6$  также с промежутками в 15 – 20 с; и) возвращают альбедометр в исходное положение головкой вверх, закрывают термобатарей (приёмник) крышкой и через 60 с делают повторный (конечный) отсчёт место нуля гальванометра  $N_0^{11}$ .



Каждое измеренное значение каждого метеорологического элемента сразу же записывают в полевые книжки, представленные ниже.

**Обработка результатов измерений  
и запись их в полевые книжки**

Результаты полевых измерений обрабатывают в помещении с использованием поверочных свидетельств к термометрам и анемометру, а также психрометрических таблиц. Результаты записывают в соответствующие таблицы.

*Таблицы 16.1 и 16.1 а.* Эти таблицы отражают микроклиматические особенности в различных (измеренных) слоях приземного слоя воздуха, в данном случае на высотах 20 и 150 см. Кроме этого, таблицы показывают различия метеорологических величин в течение дня (по срокам измерений). Обработку результатов измерений температуры и влажности воздуха следует проводить в следующем порядке: найти поправку из поверочного Свидетельства прибора для соответствующего значения температуры, снятого при измерении; учесть поправку и записать температуру в графе «исправленное значение». Например,  $13,2 + 0,2 = 13,4$  для уровня 20 см. Используя психрометрические таблицы, найти значения основных характеристик влажности воздуха – парциального давления, относительной влажности воздуха, дефицита влажности воздуха (недостатка увлажнения) и точки росы – и занести их величины в эти таблицы.

*Таблицы 16.2 и 16.2 а.* *Обработка результатов измерений температуры почвы.* Для показаний температуры почвы, определенных максимальным и минимальным термометрами, вводят поправки из поверочных свидетельств и записывают исправленные значения температуры. Поскольку термометр-щуп не имеет поверочного свидетельства, его показания записывают в графу без изменения.

*Таблицы 16.3 и 16.3 а.* *Обработка результатов измерений скорости ветра.* Последовательность обработки данных измерения скорости ветра следующая: а) находят разность отсчётов  $K_2 - K_1$ ; б) записывают число секунд, когда был включён анемометр (обычно для удобства расчётов берут 100 с); в) находят число делений счётчика в 1 с. ( $K_2 - K_1 / 100$ ); г) по поверочному свидетельству анемометра (обычно это таблица или график) переводят число оборотов за единицу времени (об/с) в абсолютные значения скорости ветра (м/с) для каждого из трёх отсчётов; д) рассчитывают среднюю скорость ветра из трёх измерений.



Таблица 16.1

## Измерение температуры и влажности воздуха в условиях рельефа

Место наблюдения \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдатель \_\_\_\_\_  
 Состояние погоды \_\_\_\_\_  
 Давление воздуха,  $P$  \_\_\_\_\_  
 Экспозиция склона \_\_\_\_\_

Наименование показателей	Вершина склона			Середина склона			Нижняя часть склона			Поле (равнина)		
	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение
Сухой термометр, $t$ , °C	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150
Смоченный термометр, $t'$ , °C												
$t - t'$												
$\Delta e$												
Парциальное давление, $e$ , гПа												
Относит. влажность, $f$ , %												
Недостаток насыщения, $d$ , гПа												
Точка росы, $t_d$ , °C												

Примечание. 20 и 150 – это высота установки приборов (см) от поверхности земли.<sup>1</sup>

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Высота установки приборов определяется руководителем в соответствии с программой практики. При исследованиях и в работах по изучению микроклимата на производственных посевах уровни установки приборов охватывают высоты: 20, 50, 100 и 200 см над поверхностью земли в зависимости от посеянной культуры (высокорослые – кукуруза, просо, кунжут и др., средние – зерновые, табак, люпин и др. и низкорослые – многие овощные, в том числе корнеплоды, клубнеплоды и др.). Уровень измерения метеорологических элементов 200 см используется для сравнения особенностей микроклимата посева со стандартными данными метеорологической сети (2 м).

Таблица 16.1а

**Измерение температуры и влажности воздуха  
на различных наблюдательных участках,  
расположенных на равнине**

Место наблюдения \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
Наблюдатель \_\_\_\_\_ Состояние погоды \_\_\_\_\_  
Давление воздуха,  $P$  \_\_\_\_\_

Наименование показателей	Участок 1			Участок 2			Участок $n$ ...		
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок
Температура, °С									
Сухой термометр, $t$									
Смоченный термометр, $t'$									
$t - t'$									
$\Delta e$									
Парциальное давление, $e$ , гПа									
Относительная влажность, $f$ , %									
Недостаток насыщения, $d$ , гПа									
Точка росы, $t_d$ , °С									

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

Таблица 16.2

## Измерение температуры почвы в условиях рельефа

Место наблюдения \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдатель \_\_\_\_\_ Время наблюдения: \_\_\_\_\_  
 Экспозиция склона \_\_\_\_\_ начало \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ конец \_\_\_\_\_

Прибор	Вершина склона			Середина склона			Нижняя часть склона			Поле (равнина)	
	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Исправл. значение
Максимальный термометр: до встряхивания, после встряхивания											
Минимальный термометр: спирт штифт											
Термометр-щуп (10 см)											
Максимальный термометр: до встряхивания, после встряхивания											
Минимальный термометр: спирт штифт											
Термометр-щуп (10 см)											

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

## Измерение температуры почвы на разных участках, расположенных на равнине

Место наблюдения \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдатель \_\_\_\_\_ Время наблюдения: \_\_\_\_\_  
 Экспозиция склона \_\_\_\_\_ начало \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ конец \_\_\_\_\_

Термометры	Участок 1			Участок 2			Участок 11 ...		
	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение	Отсчёт	Поправка	Исправл. значение
Максимальный термометр: до встряхивания, после встряхивания									
Минимальный термометр: спирт штифт									
Термометр-щуп (10 см)									
Максимальный термометр: до встряхивания, после встряхивания									
Минимальный термометр: спирт штифт									
Термометр-щуп (10 см)									

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

Таблица 16.3

**Измерения скорости ветра в условиях рельефа**

Место наблюдения \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдатель \_\_\_\_\_ Экспозиция склона \_\_\_\_\_

Элемент рельефа	Отсчёт		Разность $K_1 - K_2$	Число секунд	Деление счётчика в 1 с	Скорость ветра, м/с	Средняя скорость ветра, м/с
	$K_1$	$K_2$					
Вершина склона							
Середина склона							
Нижняя часть склона							
Поле (равнина)							

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

Таблица 16.3а

**Измерение скорости ветра на разных участках, расположенных на равнине**

Место наблюдения \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдатель \_\_\_\_\_ Экспозиция склона \_\_\_\_\_

Наименование участка и время отсчёта	Срок наблюдений	Отсчёты		Разность $K_1 - K_2$	Число секунд	Деление счётчика в 1 с	Скорость ветра, м/с	Средняя скорость ветра, м/с
		$K_1$	$K_2$					
Участок 1	1							
	2							
	3							
Участок 2	1							
	2							
	3							
Участок 3	1							
	2							
	3							

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

Таблицы 16.4, 16.4 а и 16.4 б. Обработка результатов измерений солнечной радиации (актинометрических наблюдений) включает а) расчёт среднего значения нулевого положения стрелки гальванометра для каждого измерения ( $N_0^i + N_0^{ii} / 2$ ); б) определение среднего значения из трёх отсчётов суммарной и отражённой радиации для разных высот (или разного агрофона):  $(N_1 + N_2 + N_3 / 3)$  и  $(N_4 + N_5 + N_6 / 3)$ . Из поверочного Свидетельства гальванометра используют «шкаловую» поправку  $\Delta N$ . Суммарную и отражённую радиацию вычисляют как сумму полученных ранее показателей с учётом переводного коэффициента  $K$ , рассчитанного для обоих приборов (альбедометра и гальванометра).

Таблица 16.4

**Измерения солнечной радиации**

Место наблюдения \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
 Наблюдатель \_\_\_\_\_

Высота установки (агрофон)	Нулевое положение стрелки гальванометра			Суммарная радиация ( $Q$ )			Отражённая радиация ( $R_k$ )		
	$N_0^i$	$N_0^{ii}$	$-N_0^i + N_0^{ii} / 2$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$

Таблица 16.4а

**Вычисления**

Суммарная радиация ( $Q$ )		Отражённая радиация ( $R_k$ )	
Наименование показателя	Значение показателя	Наименование показателя	Значение показателя
$(N_1 + N_2 + N_3) / 3$		$(N_4 + N_5 + N_6) / 3$	
$\pm \Delta N$		$\pm \Delta N$	
$(N_0^i + N_0^{ii}) / 2$		$-(N_0^i + N_0^{ii}) / 2$	
Сумма		Сумма	
Переводной коэффициент		Переводной коэффициент	

Таблица 16.4б

**Радиация**

Наименование показателя	Значение показателей по вариантам	
	1	2
Отражённая радиация ( $R_k$ ), Вт/м <sup>2</sup>		
Суммарная радиация ( $Q$ ), Вт/м <sup>2</sup>		
Альбедо, $A = (R_k / Q) \cdot 100$ %		

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

В заключение составляют общую (сводную) *таблицу 16.5* по данным измерений на различных участках.

В общую таблицу 16.5 включают данные за два срока измерений: температуры воздуха, относительной влажности воздуха и дефицита насыщения на двух уровнях; максимальной и минимальной температуры поверхности почвы; температуры почвы на глубине 10 см; скорости ветра на измеренной высоте (150 см). Все величины, вносимые в общую таблицу, должны включать поправки, а скорость ветра рассчитана как средняя из трёх измерений. Обработка материалов таблицы 16.5 осуществляют в двух направлениях:

- Рассчитывают различия в величинах метеорологических элементов на двух уровнях приземного слоя воздуха. Для этого определяют разность температур, относительной влажности воздуха и других величин, измеренных на высотах 20 и 150 см от поверхности почвы. Например, на вершине северного склона холма в 10 и 11 ч разность температур воздуха составила 0,4 °С, относительная влажность – 5 %, дефицит влажности – 0,9 гПа;

- Сравнивают величины метеорологических элементов, измеренных в различных участках ландшафта. Для этого определяют разность (отклонения) между показателями: на вершине склона и в низине, у его подножья; на вершине склона и на поле, среди посева; в нижней части склона и в поле, среди посева. Отклонения могут быть положительными или отрицательными. Например, температура воздуха на северном склоне на высоте 20 см в верхней его части была 13,6 °С, а в нижней части склона – 14,4 °С. Различия составляют 0,8 °С. Аналогичные расчёты проводят и по другим наблюдаемым метеорологическим элементам.

По материалам табл. 16.5 строят графики хода всех измеренных элементов. Для этого на горизонтальной оси условно обозначают точки, соответствующие участкам рельефа, где производились измерения. Например: *в* – вершина склона, *н* – нижняя часть склона; *п* – поле с посевами и т. п. На вертикальной оси в выбранном масштабе откладываются значения измеренных метеорологических элементов, каждый из элементов – условным значком. Затем отдельными разноцветными линиями соединяют значки каждого элемента на высотах 20 и 150 см. При построении каждого графика предварительно выбирают его масштаб исходя из пределов колебаний каждой измеренной величины. Линиями соединяют точки со значениями, относящиеся к высоте наблюдений 20 и 150 см от поверхности земли. При построении графиков необходимо выбрать масштаб исходя из пределов колебания

Таблица 16.5

## Сводная таблица

Наименование показателей	Время, экспозиция склона	Высота установки приборов, см	Вершина склона	Нижняя часть склона	Поле (равнина)	Отклонения			
						Вершина – низина	Вершина – поле	Низина – поле	
Температура воздуха, °С	10...11 Север	150	13,6	14,4	13,4	-0,8	0,2	1,0	
		20	13,2	14,0	13,2	-0,8	0,0	0,8	
	13...14 Юг	150	0,4	0,4	0,2				
		20	13,1	13,6	13,4	-0,5	-0,3	0,2	
	Относительная влажность воздуха, %	10...11 Север	150	-0,3	0,0	0,2	-0,2	0,2	0,4
			20	72	71	76	1	-4	-5
13...14 Юг		150	77	75	77	2	0,0	-2	
		20	-5	-4	-1				
Дефицит влажности воздуха, гПа		10...11 Север	150	77	80	68	-3	9	12
			20	80	81	73	-1	1	8
	13...14 Юг	150		-1	-5				
		20	4,4	4,8	3,7	-0,4	0,7	1,1	
	13...14 Юг	150	3,5	4,1	3,5	-0,6	0,0	0,6	
		20	0,9	0,7	0,2				
13...14 Юг	150	3,5	3,2	5,0	0,3	-1,5	-1,8		
	20	3,2	3,0	4,2	0,2	-1	-1,2		
			0,3	0,2	0,8				



Окончание табл. 16.5

Наименование показателей	Время, экспозиция склона	Высота установки приборов, см	Вершина склона	Нижняя часть склона	Поле (равнина)	Отклонения		
						Вершина – низина	Вершина – поле	Низина – поле
Максимальная температура, °С	10...11 Север	На поверхности почвы	14,3	26	23	-11,7	- 8,7	313,5
	13...14 Юг	То же	13,2	13,5	15	-0,3	-1,8	-1,5
Минимальная температура, °С	10...11 Север	На поверхности почвы	16	15,2	14,5	0,8	1,5	0,7
	13...14 Юг	То же	14	14,6	13,8	-0,6	0,2	0,8
Температура почвы, °С	10...11 Север	На поверхности почвы	13	11,9	12,1	1,1	0,9	-0,2
	13...14 Юг	То же	13	6,9	6,8	6,1	6,2	0,1
Температура почвы, °С	10...11 Север	На глубине 10 см	13,2	14,1	13,7	-0,9	-0,5	0,4
	13...14 Юг	То же	12,4	14,8	14,2	-2,4	-1,8	0,6
Скорость ветра, м/с	10... 11 Север	На глубине 10 см	13,9	12,4	14,5	1,5	-0,6	-2,1
	13...14 Юг	То же	14,5	13	15,5	1,5	-1,0	-2,5
Альбедо, %	10... 11 Север	150	4,2	3,1	3,8	1,1	0,4	-0,7
	13...14 Юг	150	2,7	1,9	3,5	0,8	-0,8	-1,6
Альбедо, %	10... 11 Север							
	13...14 Юг							

значений исследуемого метеорологического элемента. Например, при наблюдениях за относительной влажностью воздуха измеренные величины варьировали в пределах 65–80 %. Поскольку разброс значений небольшой, то приемлемым масштабом окажется 1 см, который соответствует 5 % влажности. Тогда за условный нуль по вертикальной оси следует принять 60 %.

### ***Анализ результатов измерений и составление отчёта***

Результаты микроклиматических измерений анализируют по материалам сводной таблицы 16.5 и графиков изменения метеорологических величин. Вначале отмечают, какие различия в температуре и влажности воздуха наблюдаются в приземном слое воздуха путём сравнения данных измерений на высотах 20 и 150 см. Метеорологические величины могут сильно варьировать в зависимости от состояния погоды. Поэтому измеренные отклонения характерны только для конкретной метеорологической ситуации, и их нельзя распространять на другие территории, кроме пунктов, на которых выполнены измерения. По результатам микроклиматических измерений составляют письменный отчёт, проверяемый руководителем практики.

Отчёт должен содержать:

1. Название работы.
2. Место проведения микроклиматических измерений с кратким описанием расположения наблюдательных участков на местности.
3. Перечень измеренных метеорологических элементов (уровни, последовательность проведения измерений).
4. Сроки измерений с обязательной характеристикой погодных условий (ясно, облачность в баллах, ветровой режим, состояние поверхности почвы и т.п.).
5. Анализ результатов измерений и наблюдений (какие закономерности отмечены по данным измерений по изменчивости измеряемых метеорологических элементов на различных элементах рельефа и на разных наблюдательных участках).

Пункты 1–5 даются в текстовом виде.

К отчёту должны быть приложены:

- графики хода измеренных метеорологических величин;
- таблицы с материалами измерений (16.1–16.4) и сводная таблица 16.5.

Отчёт подписывает студент, выполнивший весь комплекс измерений, обработку полученных материалов и самостоятельно написавший отчёт.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «климат», «макроклимат», «мезоклимат», «микроклимат» и «фитоклимат». В чем их различия?
2. Приведите примеры различий в температуре почвы на склонах разной экспозиции.
3. Как изменяется фитоклимат в посевах в процессе роста и развития растений?
4. Как изменяется скорость ветра в среде растений по сравнению с открытой поверхностью?
5. Как изменяется влажность почвы на склонах разной экспозиции?
6. Почему в условиях даже слабо выраженного рельефа наблюдается неодинаковая высота снежного покрова (снегонакопление)?
7. Дайте определение термина «климат почвы», раскройте его содержание.
8. Какое практическое значение имеет знание микроклимата сельскохозяйственных угодий?
9. Расскажите о методах улучшения мезоклимата и микроклимата сельскохозяйственных угодий.
10. Расскажите о способах водной мелиорации фитоклимата.
11. Что такое капельное орошение? Каковы его преимущества и недостатки?
12. Расскажите о способах тепловой мелиорации фитоклимата.
13. Расскажите о камерах искусственного климата и их научно-практическом значении в растениеводстве.
14. Как правильно выбрать участки для проведения микроклиматических градиентных измерений?
15. Какие приборы используются при проведении микроклиматических измерений? Как проводится их подготовка для установки на градиентной мачте?
16. Каков порядок проведения микроклиматических измерений? В какие сроки проводят микроклиматические измерения?

## **Глава 17**

### **УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ**

#### **17.1. Оценка агрометеорологических условий года**

Оценка агрометеорологических условий года является важнейшей составной частью в системе научных исследований почвенно-климатических, агроклиматических, гидрологических и других ресурсов конкретной территории. Она позволяет объективнее рассматривать итоги полевых опытов, учитывать влияние погодных условий на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур, на эффективность применения удобрений, находить оптимальные приёмы борьбы с вредителями и болезнями. Материалы анализа погодных условий найдут применение в курсовых и дипломных работах, в отчётах по практике других смежных дисциплин.

Цель учебной практики – закрепить теоретические знания по агрометеорологии и дать навыки рационального применения метеорологической и климатической и микроклиматической информации в производственной деятельности<sup>1</sup>.

Основная задача практики – сравнительный анализ метеорологических условий конкретного сельскохозяйственного года (с октября предыдущего по сентябрь текущего года) с климатической нормой, в результате которого дают оценку тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, неблагоприятным явлениям погоды, условиям перезимовки и др.

При проведении учебной практики используют многолетние средние значения метеорологических элементов по материалам наблюдений ближайшей метеорологической станции и данные за конкретный год. По результатам работы составляют краткую характеристику агрометеорологических условий года. Выполненное задание сдают преподавателю в форме отчёта.

---

<sup>1</sup> Практические рекомендации по организации и проведению микроклиматических измерений приведены в главе 16, разделе 16.3.

В зависимости от количества дней, выделенных на учебную практику, план её проведения и содержание будут различными. При двухдневной практике оценивают агрометеорологические условия только периода активной вегетации сельскохозяйственных культур. В первый день выписывают необходимую метеорологическую информацию, составляют таблицы и выполняют расчёты, во второй день готовят характеристику вегетационного периода и сдают отчёт.

При трёхдневной практике оценивают агрометеорологические условия всего сельскохозяйственного года (холодного и тёплого периодов). В первый день проводят выборку метеорологических и климатических данных, во второй день делают расчёты, составляют таблицы, строят графики, в третий – пишут отчёт с оценкой агрометеорологических условий года и сдают его преподавателю.

#### *Задание*

1. Составить таблицы климатических данных по выбранной метеорологической станции, используя «Агроклиматические справочники по области», «Справочники по климату» или информацию непосредственно по ближайшей станции (табл. 17.1 – 17.6).

2. Выписать данные погодных условий за конкретный год по тем же элементам, что и климатические. Составить характеристику метеорологических условий по месяцам этого года в форме таблиц 17.1 – 17.6.

3. Выполнить расчёты характеристик термических условий холодного и тёплого сезонов (табл. 17.7; 17.10), а также условий увлажнения (табл. 17.8; 17.9), определить величину отклонений от средних многолетних значений основных элементов: температуры воздуха, сумм температур, осадков, гидротермического коэффициента (ГТК Селянинова) и др. Заполнить обобщённую таблицу по агрометеорологической характеристике зимнего периода (табл. 17.11).

4. Дать оценку агрометеорологических условий сельскохозяйственного года (или вегетационного периода) на основе анализа климатических данных (табл. 17.1 – 17.6), условий по сезонам года, расчётов по отклонению основных элементов от нормы (табл. 17.7 – 17.10) с применением нормативных агрометеорологических показателей (табл. 17.12 – 17.16).

5. Построить график годового хода основных элементов (температуры воздуха и сумм осадков) по месяцам, дополнив его изображением хода температуры за *N*-й год (прерывистая, ломаная линия) и сумм осадков (заштрихованные столбики).

6. Подготовить отчёт о практике, включив в него материал выполненных заданий в главе 16, таблицы 16.1 – 16.5, микроклиматические измерения.

Таблица 17.1

**Многолетние средние значения основных метеорологических элементов по данным метеорологической станции ...**

Параметр	Декада	Месяц									
		01	02	03	04	05	06	...	12		
Средняя декадная температура воздуха, °С	I										
	II										
	III										
Сумма среднесуточных температур выше 10 °С нарастающим итогом, °С	I										
	II										
	III										
Количество осадков, мм: по декадам	I										
	II										
	III										
Количество осадков за месяц, мм											
Недостаток насыщения, гПа											
Гидротермический коэффициент (за май – август)											

Таблица 17.2

**Даты устойчивого перехода и число дней со средней суточной температурой выше 0, 5, 10 °С**

Выше 0 °С			Выше 5 °С			Выше 10 °С		
Начало	Конец	Число суток	Начало	Конец	Число суток	Начало	Конец	Число суток

Таблица 17.3

**Дата последнего и первого заморозков и продолжительность беззаморозкового периода (сутки)**

Последний заморозок весной	Первый заморозок осенью	Продолжительность периода

Таблица 17.4

**Средняя продолжительность холодного периода (сутки)**

Параметр	Начало	Конец	Продолжительность
Дата перехода среднесуточной температуры воздуха ниже 0 °С			

Таблица 17.5

**Средние даты выпадения первого снега, образования устойчивого снежного покрова, окончания снеготаяния**

Дата выпадения первого снега	Дата образования устойчивого снежного покрова	Дата окончания снеготаяния

Таблица 17.6

**Многолетние средние характеристики снежного покрова по данным метеорологической станции**

Параметр	Декада	Месяц					
		10	11	12	01	02	03
Высота снежного покрова на последний день декады, см	I						
	II						
	III						
Плотность снежного покрова на последний день декады, г/см <sup>3</sup>	I						
	II						
	III						
Запасы воды в снеге на последний день декады, мм	I						
	II						
	III						
Глубина промерзания почвы на последний день декады, см	I						
	II						
	III						

**Пояснения к расчётным характеристикам года**

Таблица 17.7. Отклонения от многолетних средних значений температуры рассчитывают по декадам каждого месяца. Если средняя температура за декаду в данном году будет выше многолетней (табл. 17.1), то ставят знак (+), т. е. положительное отклонение, если ниже, то знак (-) – отрицательное отклонение. Таким образом определяют, теплее или холоднее была эта декада.

Таблица 17.7

**Характеристика термических условий тёплого периода \_\_\_\_ год**

Параметр	Декада	Месяц					
		04	05	06	07	08	09
Отклонения от многолетних средних значений температуры воздуха, °С	I						
	II						
	III						

Окончание табл. 17.7

Параметр	Декада	Месяц					
		04	05	06	07	08	09
Сумма активных температур >10 °С нарастающим итогом, °С	I						
	II						
	III						
Сумма эффективных температур >5 °С нарастающим итогом, °С	I						
	II						
	III						

*Пример*

Средняя многолетняя температура в мае по декадам: 12,4; 14,8; 16,5 °С; в  $N$ -м году соответственно 11,4; 13,6; 18,7 °С. Отклонения составят -1,0; -1,2; +2,2 °С.

Сумму активных температур выше 10 °С можно получить только за декады с температурой выше 10 °С.

*Пример*

По тем же температурам мая в  $N$ -м году 11,4; 13,6; 18,7 °С сумма активных температур составит:  $11,4 \cdot 10 = 114$  °С;  $13,6 \cdot 10 = 136$  °С;  $18,7 \cdot 11 = 205,7$  °С (в третьей декаде мая 11 суток). Нарастающим итогом они будут выглядеть следующим образом: I декада – 114 °С, II декада –  $114 + 136 = 250$  °С, III –  $250 + 205,7 = 455,7$  °С (456 °С округлённо). Следовательно, к концу мая накопилось 456 °С сумм активных температур. Так же рассчитывают далее суммы активных температур за весь период, когда средние суточные температуры выше 10 °С (по декадам).

Сумму эффективных температур определяют по средним декадным температурам выше 5 °С. При этом из каждой декадной температуры вычитают 5 °С, а остаток умножают на число суток декады (10 или 11).

*Пример*

По тем же температурам мая в  $N$ -м году 11,4; 13,6; 18,7 °С суммы эффективных температур составят:  $(11,4 - 5,0) \cdot 10 = 64$  °С;  $(13,6 - 5,0) \cdot 10 = 86$  °С;  $(18,7 - 5) \cdot 10 = 150,7$  °С. Нарастающим итогом получим: I декада – 64 °С; II декада –  $64 + 86 = 150$  °С; III декада –  $150 + 150,7 = 300,7$  °С (округлённо 301 °С). К концу мая накопился 301 °С сумм эффективных температур выше 5 °С. Аналогично ведут расчёт за весь период с декадной температурой выше 5 °С.



Таблица 17.8. Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков принято давать в процентах. Определяют, сколько процентов составляет сумма выпавших осадков в декаде от нормы.

Таблица 17.8

**Характеристика условий увлажнения тёплого периода \_\_\_\_\_ год**

Параметр	Декада	Месяц					
		04	05	06	07	08	09
Месячная сумма осадков, мм	–						
Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков, %	I						
	II						
	III						
ГТК за месяц							
ГТК за май – август							

*Пример*

В апреле  $N$ -го года выпало осадков по декадам 6, 13, 24 мм, средние многолетние суммы – соответственно 12, 13, 12 мм, отклонения составят 50, 100, 200 %. В первой декаде выпало 50 % осадков нормы, во второй – норма (100 %), в третьей – две нормы (200 %). Подобный расчёт даёт возможность оценить суммы осадков в отношении их недостатка или избытка.

Гидротермический коэффициент (ГТК Селянинова) рассчитывают по формуле

$$ГТК = \frac{\sum r}{0,1 \sum t_{>10^{\circ}C}}, \quad (17.1)$$

где  $\sum r$  – сумма осадков, мм;  $\sum t_{>10^{\circ}C}$  – сумма температур выше  $10^{\circ}C$ .

ГТК принято рассчитывать за период не менее месяца. Поэтому берут месячные суммы осадков и суммы активных температур за соответствующий месяц (табл. 17.7).

*Пример*

Сумма осадков за май  $N$ -го – года 60 мм, сумма температур выше  $10^{\circ}C$  равна 456  $^{\circ}C$ :

$$ГТК = \frac{60}{0,1 \cdot 456} = \frac{60}{45,6} = 1,32.$$

ГТК за май – август получают не осреднением его месячных значений, а подсчётом сумм осадков и сумм температур за весь названный период.

В табл. 17.9 отклонения от многолетних сумм осадков по декадам холодного периода двух смежных лет (октябрь – март) выполняют так же, как и в таблице 17.8.

Таблица 17.9

**Характеристика условий увлажнения холодного периода**

Параметр	Декада	Год ____			Год ____		
		Месяц			Месяц		
		10	11	12	01	02	03
Месячная сумма осадков, мм	–						
Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков, %	I						
	II						
	III						
Запасы воды в снеге на последние сутки декады, мм	I						
	II						
	III						

Запасы воды в снеге ( $H$ , мм) на последний день декады рассчитывают по формуле

$$H = 10hd, \quad (17.2)$$

где  $h$  – высота снега, см;  $d$  – плотность снега, г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 17.10.** Отклонения от многолетних значений температуры воздуха рассчитывают подобно таблице 17.7. Важно учитывать, что понятие выше (+) и ниже (-) многолетних значений относится в большинстве случаев к отрицательным температурам.

Число суток с оттепелью выбирают в том случае, если есть полный первичный материал метеостанции. Такие сутки определяют по максимальной температуре воздуха за сутки выше 0 °С в течение зимы, т. е. в период с температурой ниже 0 °С (табл. 17.10).

Таблица 17.10

**Характеристика термических условий холодного периода**

Параметр	Декада	Год ____			Год ____		
		Месяц			Месяц		
		10	11	12	01	02	03
Отклонения от многолетних средних значений температуры воздуха, °С	I						
	II						
	III						
Число суток с оттепелью (за месяц)							

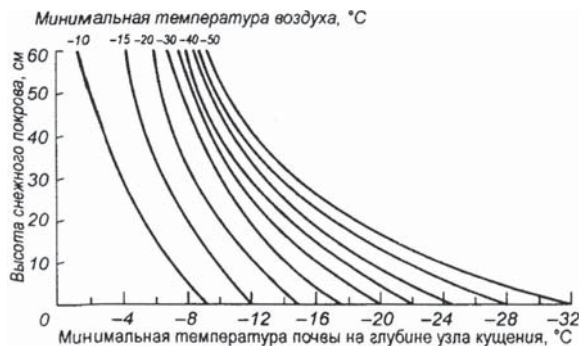
При обобщении агрометеорологических условий зимнего периода за абсолютный минимум принимают самую низкую температуру воздуха, которую находят по данным минимальных температур в любой срок наблюдения (табл. 17.11).

Таблица 17.11.

**Агрометеорологическая характеристика зимнего периода  
(ноябрь – март)**

Параметр	Значение
1. Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	
2. Дата образования устойчивого снежного покрова	
3. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом, сутки	
4. Максимальная высота снежного покрова за зиму, см	
5. Максимальные запасы воды в снеге, мм	
6. Число суток с оттепелью	
7. Минимальная температура почвы на глубине узла кущения (3 см), °С	
8. Наибольшая глубина промерзания почвы, см	

Под номерами 2, 3, 4, 5 (табл. 17.11) приводят основные характеристики снежного покрова. Число суток с оттепелью за зиму суммируют из месячных значений таблицы 17.10. Минимальную температуру почвы на глубине залегания узла кущения (3 см) определяют косвенно по факторам, от которых она зависит: минимальной температуры воздуха и высоты снежного покрова, используя номограмму (рис. 17.1).



*Рис. 17.1. Связь минимальной температуры почвы (3 см) с минимальной температурой воздуха при разной высоте снежного покрова (по А. М. Шульгину)*

*Пример*

Минимальная температура воздуха  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , высота снежного покрова на эту дату 10 см. Минимальная температура на глубине залегания узла кущения озимых составит  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**17.2. Характеристика агрометеорологических условий года**  
(Рекомендации по составлению письменного отчёта по практике)

***Холодный период***

- Сравнивают со средними многолетними данными динамику температуры воздуха, даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и продолжительность холодного периода, а также даты выпадения первого снега, образования устойчивого снежного покрова, окончания снеготаяния.

- На основании полученных данных о текущем зимнем периоде и перезимовке возделываемых культур составляют характеристику сложившихся условий с оценкой возможного их повреждения (вымерзания, выпревания и других видов опасных явлений). При этом используют соответствующие таблицы (табл. 17.9 – 17.11).

***Тёплый период***

- Отмечают по датам устойчивого перехода средней суточной температуры через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в сторону повышения (начало) и в сторону понижения (окончание) тёплого периода, его продолжительность (сутки). По датам устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в сторону повышения и понижения) обозначают продолжительность вегетационного периода большинства сельскохозяйственных культур. Период активной вегетации обычно связывают с устойчивым превышением средней суточной температуры  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность названных периодов сравнивают с климатической нормой (средними многолетними величинами);

- Приводят наиболее выраженные отклонения средних декадных температур от нормы, выделяя тем самым периоды (сколько декад) потеплений и похолоданий (табл. 17.7).

- Отмечают сумму активных температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  по отдельным месяцам, накопившуюся к определенному времени (например, конец июня, июля или августа) и в целом за период активной вегетации в сравнении с климатической нормой (табл. 17.7). Это позволяет выполнить сравнительную оценку обеспеченности теплом вегетационного периода: более тёплый или более холодный период, недостаточно обеспеченный теплом или избыточно тёплый, применительно к конкретным возделываемым культурам.

- Дают общую оценку обеспеченности теплом вегетационного периода, а также по отношению к сельскохозяйственным культурам, приведенным в таблице 17.14.

- Сравнивают с климатической нормой количество выпавших осадков (%), подекадно, и формулируют вывод об условиях увлажнения рассматриваемых периодов.

- Оценивают по величине рассчитанного ГТК Селянинова степень увлажнённости по месяцам и в целом за вегетационный период, используя критерии таблицы 17.15.

- Характеризуют условия уборки озимых (конец июля) и яровых (конец августа) по данным о недостатке насыщения, используя критерии таблицы 17.16.

- Описывают неблагоприятные и/или опасные метеорологические условия теплого сезона. Отмечают сроки окончания заморозков весной и наступление их осенью (даты) в текущем году, какова была продолжительность беззаморозкового периода (сутки). Выделяют периоды засух путем сравнения с климатической нормой величин гидротермического коэффициента и недобора осадков ( $ГТК \leq 0,6$ , осадков  $\leq 50\%$  нормы); переувлажнением (особенно осенью) обычно считают выпадение осадков  $150 - 200\%$  нормы.

- Анализируют и оценивают влияние метеорологических условий года на величину урожайности сельскохозяйственных культур в сравнении с данными прошлого года и со средними многолетними величинами.

- Составляют общую характеристику агрометеорологических условий анализируемого года.

Таким образом, Отчёт об учебной практике должен включать текст, таблицы и графики:

1. Анализ результатов микроклиматических измерений (глава 16, табл. 16.1 – 16.5);

2. Характеристика агрометеорологических условий года, в период которого проводилась учебная практика, в соответствии с заданием Руководителя.

Отчёт подписывает студент, полностью выполнивший программу полевых измерений и наблюдений, обработку собственных материалов измерений и самостоятельно написавший Отчёт.

Отчёт проверяет и подписывает Руководитель учебной практики.

**Нормативные агрометеорологические показатели  
для использования при написании Отчёта**

Таблица 17.12

**Характеристика условий перезимовки**

Культура	Критическая температура на глубине узла кущения, °С
<i>Вымерзание</i>	
Озимая рожь	-20...-22
Озимая пшеница	-16...-18
Озимый ячмень	-12...-15
Клевер	-16...-20
<i>Выпревание, возможное при сочетании условий:</i>	
высота снежного покрова >30 см,	
глубина промерзания почвы <50 см,	
температура воздуха выше – 5 °С,	
продолжительность периода 3 – 4 декады.	

Таблица 17.13

**Критические температуры для плодовых и цитрусовых культур, °С**

Культура	Надземная часть (по температуре воздуха, °С)	Корневая система (по температуре почвы, °С)
Яблоня: сибирские и уральские сорта, среднерусские сорта, южные сорта	-45...-50 -35...-40 -30	-15...-18 -12...-15 -10...-12
Груша европейского сорта	-25...-30	-9...-10
Вишня	-30	-14...-15
Черешня	-25...-30	
Слива: южная, уссурийская	-20...-30 -50	
Абрикос	-25	
Персик	-23...-25	-10...-12
Виноград, европейские сорта	-12...-20	-7...-9
Цитрусовые: мандарины, апельсины, лимоны	-10...-12 -5...-7 -4...-5	-11

Окончание табл. 17.13

Культура	Надземная часть (по температуре воздуха, °С)	Корневая система (по температуре почвы, °С)
Малина		-8...-10
Земляника		-15...-16
Смородина		-18
Крыжовник		-18

Таблица 17.14

**Потребность в тепле сельскохозяйственных культур**

Культура	Скороспелость сортов	Потребность культуры в тепле ( $\sum t_{акт} > 10^\circ\text{C}$ ), °С
Озимая рожь	Среднеспелые	1350
	Позднеспелые	1400
Озимая пшеница	Среднеспелые	1450
	Позднеспелые	1500
Яровая пшеница	Раннеспелые	1400
	Среднеспелые	1500
Ячмень	Среднеспелые	1350
	Позднеспелые	1450
Овёс	Среднеспелые	1450
	Позднеспелые	1550
Горох	Раннеспелые	1250
	Среднеспелые	1400
Картофель	Раннеспелые	1200
	Среднеспелые	1500
	Позднеспелые	1800
Огурцы	Раннеспелые: до начала созревания	800
	до полных сборов	1200
	Среднеспелые до начала созревания	900
	до полных сборов	1300
Томаты	Раннеспелые: бланжевая спелость	900
	до красных плодов	1500

Таблица 17.15

**Критерии увлажнения вегетационного периода  
по гидротермическому коэффициенту (ГТК Селянинова)  
применительно к Нечерноземной зоне Европейской части России**

ГТК	Характеристика увлажнения
$> 2,0$	Переувлажнение
$1,5...2,0$	Достаточное увлажнение
$1,3...1,5$	Близкое к среднему
$0,7...1,3$	Недостаточное увлажнение
$<0,7$	Засушливые условия

Таблица 17.16

**Критерии качества работы комбайнов: различные значения дефицита  
насыщения водяного пара**

Дефицит насыщения водяного пара, гПа	Условия работы комбайнов
$d > 8$	Хорошие
$3 < d < 8$	Удовлетворительные
$d < 3$	Плохие



## ЧАСОВЫЕ ЗОНЫ

На территории Российской Федерации устанавливаются часовые зоны, границы которых формируются с учётом границ субъектов Российской Федерации. Состав территорий, образующих каждую часовую зону, и порядок исчисления времени в часовых зонах:

- **1-я часовая зона** (МСК-1, Московское время минус 1 час, UTC+2): Калининградская область;
- **2-я часовая зона** (МСК, московское время, UTC+3): Республика Адыгея (Адыгея), Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Калмыкия, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Карелия, Республика Коми, Республика Крым, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Северная Осетия – Алания, Республика Татарстан (Татарстан), Чеченская Республика, Чувашская Республика – Чувашия, Краснодарский край, Ставропольский край, Архангельская область, Белгородская область, Брянская область, Владимирская область, Волгоградская область, Вологодская область, Воронежская область, Ивановская область, Калужская область, Кировская область, Костромская область, Курская область, Ленинградская область, Липецкая область, Московская область, Мурманская область, Нижегородская область, Новгородская область, Орловская область, Пензенская область, Псковская область, Ростовская область, Рязанская область, Смоленская область, Тамбовская область, Тверская область, Тульская область, Ярославская область, города федерального значения – Москва, Санкт-Петербург, Севастополь – и Ненецкий автономный округ;
- **3-я часовая зона** (МСК+1, московское время плюс 1 час, UTC+4): Удмуртская Республика, Астраханская область, Самарская область, Саратовская область и Ульяновская область;
- **4-я часовая зона** (МСК+2, московское время плюс 2 часа, UTC+5): Республика Башкортостан, Пермский край, Курганская область, Оренбургская область, Свердловская область, Тюменская область, Челябинская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра и Ямало-Ненецкий автономный округ;
- **5-я часовая зона** (МСК+3, московское время плюс 3 часа, UTC+6): Омская область;
- **6-я часовая зона** (МСК+4, московское время плюс 4 часа, UTC+7): Республика Алтай, Республика Тыва, Республика Хакасия, Алтайский край, Красноярский край, Кемеровская область, Новосибирская область и Томская область;
- **7-я часовая зона** (МСК+5, московское время плюс 5 часов, UTC+8): Республика Бурятия и Иркутская область;
- **8-я часовая зона** (МСК+6, московское время плюс 6 часов, UTC+9): Республика Саха (Якутия) (Алданский, Амгинский, Анабарский, Булунский, Верхневилуйский, Вилюйский, Горный, Жиганский национальный эвенкийский, Кобяйский, Ленский,

Мегино-Кангаласский, Мирнинский, Намский, Нерюнгринский, Нюрбинский, Олекминский, Оленекский эвенкийский национальный, Сунтарский, Таттинский, Томпонский, Усть-Алданский, Усть-Майский, Хангаласский, Чурапчинский и Эвено-Бытантайский улусы (районы), город республиканского значения Якутск), Забайкальский край и Амурская область;

- **9-я часовая зона** (МСК+7, московское время плюс 7 часов, UTC+10): Республика Саха (Якутия) (Верхоянский, Оймяконский и Усть-Янский улусы (районы), Приморский край, Хабаровский край и Еврейская автономная область;

- **10-я часовая зона** (МСК+8, московское время плюс 8 часов, UTC+11): Республика Саха (Якутия) (Абыйский, Аллаиховский, Верхнеколымский, Момский, Нижнеколымский и Среднеколымский улусы (районы), Магаданская область, Сахалинская область;

- **11-я часовая зона** (МСК+9, московское время плюс 9 часов, UTC+12): Камчатский край и Чукотский автономный округ.

**ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ**  
**для определения характеристик влажности воздуха**  
**(сокращённый вариант)**

**1. Максимальная упругость водяного пара над водой  $E$ , гПа**

Целые градусы	Десятые доли градуса				
	0	2	4	6	86
0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5
1	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0
2	7,0	7,2	7,3	7,3	7,5
3	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0
4	8,1	8,2	8,4	8,5	8,6
5	8,7	8,8	9,0	9,1	9,2
6	9,4	9,5	9,6	9,7	9,9
7	10,0	10,2	10,3	10,4	10,6
8	10,7	10,9	11,0	11,2	11,3
9	11,5	11,6	11,8	12,0	12,1
10	12,3	12,4	12,6	12,8	13,0
11	13,1	13,3	13,5	13,7	13,8
12	14,0	14,2	14,4	14,6	14,8
13	15,0	15,2	15,4	15,6	15,8
14	16,0	16,2	16,4	16,6	16,8
15	17,1	17,3	17,5	17,7	18,0
16	18,2	18,4	18,7	18,9	19,1
17	19,4	19,6	19,9	20,1	20,4
18	20,6	20,9	21,2	21,4	21,7
19	22,0	22,3	22,5	22,8	23,1
20	23,4	23,7	24,0	24,3	24,6
21	24,9	25,2	25,5	25,8	26,1
22	26,5	26,8	27,1	27,4	27,8
23	28,1	28,5	28,8	29,2	29,5
24	29,9	30,2	30,6	31,0	31,3
25	31,7	32,1	32,5	32,9	33,2
26	33,6	34,0	34,4	34,9	35,3
27	35,7	36,1	36,5	37,0	37,4
28	37,8	38,3	38,7	39,2	39,6
29	40,1	40,6	41,0	41,5	42,0
30	42,5	43,0	43,5	44,0	44,5

*Пример 1.* Определить максимальную упругость водяного пара при температуре 10,5 °С. Из таблицы 1 видно, что при 10,4 °С максимальная упругость 12,6 гПа, при 10,6 °С – 12,8 гПа, соответственно при 10,5 °С максимальная упругость – 12,7 гПа.

**2. Таблица для определения точки росы  $t_d$  по значению упругости водяного пара (парциальное давление  $e$ , гПа)**

$e$ , гПа	$t_d$ , °С	$e$ , гПа	$t_d$ , °С
1,3	-20	6,2...6,3	0
1,4	-19	6,4...6,7	1
1,5	-18	6,8...7,3	2
1,6	-17	7,4...7,8	3
1,9...1,8	-16	7,9...8,4	4
1,9	-15	8,5...9,0	5
2,0...2,1	-14	9,1...9,6	6
2,2...2,3	-13	9,7...10,3	7
2,4...2,5	-12	10,4...11,1	8
2,6...2,7	-11	11,2...11,8	9
2,8...2,9	-10	11,9...12,7	10
3,0...3,2	-9	12,8...13,5	11
3,3...3,4	-8	13,6...14,5	12
3,5...3,7	-7	14,6...15,4	13
3,8...4,0	-6	15,5...16,5	14
4,1...4,3	-5	16,6...17,6	15
4,4...4,7	-4	17,7...18,7	16
4,8...5,0	-3	18,8...20,0	17
5,1...5,4	-2	20,1...21,3	18
5,5...5,8	-1	21,4...22,6	19
5,9...6,1	0	22,7...24,1	20

Пример 2. Парциальное давление 14,1 гПа. Из данных таблицы 2 видно, что точка росы равна 12 °С.

**3. Психрометрические таблицы**

- $t$  – температура сухого термометра, °С
- $t'$  – температура смоченного термометра, °С
- $e$  – парциальное давление, гПа
- $f$  – относительная влажность, %
- $d$  – недостаток насыщения, гПа
- $n$  – поправочное число

	$e$	$f$	$d$	$n$		$e$	$f$	$d$	$n$
$t'$	$t = 5$				$t'$	$t = 6$			
<b>-1,0</b>	0,9	10	7,8	19	<b>0,0</b>	1,3	14	8,1	19
<b>0,0</b>	2,1	25	6,6	16	<b>1,0</b>	2,6	28	6,8	15
<b>+1,0</b>	3,4	39	5,3	12	<b>2,0</b>	3,9	41	5,5	12
<b>+2,0</b>	4,7	54	4,0	9	<b>3,0</b>	5,2	56	4,2	9
<b>+3,0</b>	6,0	68	2,7	6	<b>4,0</b>	6,5	70	2,9	6
<b>+4,0</b>	7,3	84	1,4	3	<b>5,0</b>	7,9	85	1,5	3
<b>+5,0</b>	8,7	100	0,0	0	<b>6,0</b>	9,4	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 7$					$t = 8$			
<b>0,0</b>	0,6	5	9,4	22	<b>1,0</b>	1,0	9	9,7	21
<b>1,0</b>	1,8	18	8,2	18	<b>2,0</b>	2,3	21	8,4	18
<b>2,0</b>	3,1	31	6,9	15	<b>3,0</b>	3,6	34	7,1	15
<b>3,0</b>	4,4	44	5,6	12	<b>4,0</b>	4,9	46	5,8	11
<b>4,0</b>	5,8	57	4,2	9	<b>5,0</b>	6,3	59	4,4	8
<b>5,0</b>	7,1	71	2,9	6	<b>6,0</b>	7,8	72	2,9	5
<b>6,0</b>	8,6	85	1,4	3	<b>7,0</b>	9,2	86	1,5	3
<b>7,0</b>	10,0	100	0,0	0	<b>8,0</b>	10,7	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 9$					$t = 10$			
<b>2,0</b>	1,5	13	10,0	21	<b>3,0</b>	2,0	16	10,3	20
<b>3,0</b>	2,8	24	8,7	17	<b>4,0</b>	3,4	27	8,9	17
<b>4,0</b>	4,2	36	7,3	14	<b>5,0</b>	4,8	39	7,5	14
<b>5,0</b>	5,5	48	6,0	11	<b>6,0</b>	6,2	50	6,1	11
<b>6,0</b>	7,0	61	4,5	8	<b>7,0</b>	7,6	62	4,7	8
<b>7,0</b>	8,4	73	3,1	5	<b>8,0</b>	9,1	74	3,2	5
<b>8,0</b>	9,9	87	1,6	3	<b>9,0</b>	10,7	87	1,6	2
<b>9,0</b>	11,5	100	0,0	0	<b>10,0</b>	12,3	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 11$					$t = 12$			
<b>3,0</b>	1,2	9	11,9	23	<b>3,0</b>	0,4	3	13,6	26
<b>4,0</b>	2,6	20	10,5	20	<b>4,0</b>	1,8	13	12,2	22
<b>5,0</b>	4,0	30	9,1	16	<b>5,0</b>	3,2	23	10,8	19
<b>6,0</b>	5,4	41	7,7	13	<b>6,0</b>	4,6	33	9,4	16
<b>7,0</b>	6,8	52	6,3	10	<b>7,0</b>	6,0	43	8,0	13
<b>8,0</b>	8,3	64	4,8	8	<b>8,0</b>	7,5	54	6,5	10
<b>9,0</b>	9,9	75	3,2	5	<b>9,0</b>	9,1	65	4,9	7
<b>10,0</b>	11,5	88	1,6	2	<b>10,0</b>	10,7	76	3,3	5
<b>11,0</b>	13,1	100	0,0	0	<b>11,0</b>	12,3	88	1,7	2
					<b>12,0</b>	14,0	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 13$					$t = 14$			
<b>4,0</b>	1,0	7	14,0	25	<b>5,0</b>	1,6	10	14,4	24
<b>5,0</b>	2,4	16	12,6	22	<b>6,0</b>	3,0	19	13,0	21
<b>6,0</b>	3,8	25	11,2	19	<b>7,0</b>	4,5	28	11,5	18
<b>7,0</b>	5,2	35	9,8	16	<b>8,0</b>	6,0	37	10,0	15
<b>8,0</b>	6,8	45	8,2	13	<b>9,0</b>	7,5	47	8,5	12
<b>9,0</b>	8,3	55	6,7	10	<b>10,0</b>	9,1	57	6,9	10
<b>10,0</b>	9,9	66	5,1	7	<b>11,0</b>	10,8	67	5,2	7
<b>11,0</b>	11,5	77	3,5	5	<b>12,0</b>	12,4	78	3,6	5
<b>12,0</b>	13,2	88	1,8	2	<b>13,0</b>	14,2	89	1,8	2
<b>13,0</b>	15,0	100	0,0	0	<b>14,0</b>	16,0	100	0,0	0

Приложение 2. Психометрические таблицы

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 15$					$t = 16$			
<b>5,0</b>	0,8	5	16,3	27	<b>6,0</b>	1,4	8	16,8	27
<b>6,0</b>	2,2	13	14,9	24	<b>7,0</b>	2,9	16	15,3	23
<b>7,0</b>	3,7	21	13,4	21	<b>8,0</b>	4,4	24	13,8	20
<b>8,0</b>	5,2	30	11,9	18	<b>9,0</b>	5,9	33	12,3	17
<b>9,0</b>	6,7	39	10,4	15	<b>10,0</b>	7,5	41	10,7	14
<b>10,0</b>	8,3	49	8,8	12	<b>11,0</b>	9,2	50	9,0	12
<b>11,0</b>	10,0	58	7,1	9	<b>12,0</b>	10,8	60	7,4	9
<b>12,0</b>	11,6	68	5,5	7	<b>13,0</b>	12,6	69	5,6	7
<b>13,0</b>	13,4	78	3,7	4	<b>14,0</b>	14,4	79	3,8	4
<b>14,0</b>	15,2	89	1,9	2	<b>15,0</b>	16,3	89	1,9	217,1
<b>15,0</b>	17,1	100	0,0	0	<b>16,0</b>	18,2	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 17$					$t = 18$			
<b>6,0</b>	0,6	3	18,8	29	<b>7,0</b>	1,3	6	19,3	28
<b>7,0</b>	2,1	11	17,3	26	<b>8,0</b>	2,8	13	17,8	25
<b>8,0</b>	3,6	18	15,8	23	<b>9,0</b>	4,3	21	16,3	22
<b>9,0</b>	5,1	26	14,3	20	<b>10,0</b>	5,9	29	14,7	19
<b>10,0</b>	6,7	35	12,7	17	<b>11,0</b>	7,6	37	13,0	16
<b>11,0</b>	8,4	43	11,0	14	<b>12,0</b>	9,3	45	11,3	13
<b>12,0</b>	10,1	52	9,3	11	<b>13,0</b>	11,0	53	9,6	11
<b>13,0</b>	11,8	61	7,6	9	<b>14,0</b>	12,8	62	7,8	8
<b>14,0</b>	13,6	70	5,8	6	<b>15,0</b>	14,7	71	5,9	6
<b>15,0</b>	15,5	80	3,9	4	<b>16,0</b>	16,6	80	4,0	4
<b>16,0</b>	17,4	90	2,0	2	<b>17,0</b>	18,6	90	2,0	2
<b>17,0</b>	19,4	100	0,0	0	<b>18,0</b>	20,6	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 19$					$t = 20$			
<b>8,0</b>	2,0	9	20,0	27	<b>8,0</b>	1,2	5	22,2	30
<b>9,0</b>	3,5	16	18,5	24	<b>9,0</b>	2,7	12	20,7	27
<b>10,0</b>	5,1	23	16,9	21	<b>10,0</b>	4,3	19	19,1	24
<b>11,0</b>	6,8	31	15,2	18	<b>11,0</b>	6,0	26	17,4	21
<b>12,0</b>	8,5	39	13,5	16	<b>12,0</b>	7,7	33	15,7	18
<b>13,0</b>	10,2	46	11,8	13	<b>13,0</b>	9,4	40	14,0	15
<b>14,0</b>	12,0	55	10,0	11	<b>14,0</b>	11,2	48	12,2	13
<b>15,0</b>	13,9	63	8,1	8	<b>15,0</b>	13,1	56	10,3	10
<b>16,0</b>	15,8	72	6,2	6	<b>16,0</b>	15,0	64	8,4	8
<b>17,0</b>	17,8	81	4,2	4	<b>17,0</b>	17,0	73	6,4	6
<b>18,0</b>	19,9	90	2,1	2	<b>18,0</b>	19,1	81	4,3	4
<b>19,0</b>	22,0	100	0,0	0	<b>19,0</b>	21,2	91	2,2	2
					<b>20,0</b>	32,4	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 21$					$t = 22$			
<b>9,0</b>	1,9	8	23,0	29	<b>9,0</b>	1,2	4	25,3	31
<b>10,0</b>	3,5	14	21,4	26	<b>10,0</b>	2,7	10	23,8	28
<b>11,0</b>	5,2	21	19,7	23	<b>11,0</b>	4,4	17	22,1	25
<b>12,0</b>	6,9	28	18,0	20	<b>12,0</b>	6,1	23	20,4	22
<b>13,0</b>	8,6	35	16,3	17	<b>13,0</b>	7,8	30	18,7	19
<b>14,0</b>	10,4	42	14,5	15	<b>14,0</b>	9,6	36	16,9	17
<b>15,0</b>	12,3	50	12,6	12	<b>15,0</b>	11,5	43	15,0	14
<b>16,0</b>	14,2	57	10,7	10	<b>16,0</b>	13,4	51	13,1	12
<b>17,0</b>	16,2	65	8,7	8	<b>17,0</b>	15,4	58	11,1	10
<b>18,0</b>	18,3	73	6,6	6	<b>18,0</b>	17,5	66	9,0	7
<b>19,0</b>	20,4	82	4,5	4	<b>19,0</b>	19,6	74	6,9	5
<b>20,0</b>	22,6	91	2,3	2	<b>20,0</b>	21,8	82	4,7	3
<b>21,0</b>	24,9	100	0,0	0	<b>21,0</b>	24,1	91	2,4	2
					<b>22,0</b>	26,5	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 23$					$t = 24$			
<b>10,0</b>	2,0	7	26,1	30	<b>10,0</b>	1,2	4	28,7	31
<b>11,0</b>	3,6	13	24,5	27	<b>11,0</b>	2,8	9	27,1	29
<b>12,0</b>	5,3	19	22,8	24	<b>12,0</b>	4,5	15	25,4	26
<b>13,0</b>	7,0	25	21,1	22	<b>13,0</b>	6,2	21	23,7	24
<b>14,0</b>	8,8	31	19,3	19	<b>14,0</b>	8,0	27	21,9	21
<b>15,0</b>	10,7	38	17,4	16	<b>15,0</b>	9,9	33	20,0	18
<b>16,0</b>	12,6	45	15,5	14	<b>16,0</b>	11,8	40	18,1	16
<b>17,0</b>	14,6	52	13,5	11	<b>17,0</b>	13,8	46	16,1	13
<b>18,0</b>	16,7	59	11,4	9	<b>18,0</b>	15,9	53	14,0	11
<b>19,0</b>	18,8	67	9,3	7	<b>19,0</b>	18,0	60	11,9	9
<b>20,0</b>	21,0	75	7,1	5	<b>20,0</b>	20,2	68	9,7	7
<b>21,0</b>	23,3	83	4,8	3	<b>21,0</b>	22,5	75	7,4	5
<b>22,0</b>	25,7	91	2,4	2	<b>22,0</b>	24,9	83	5,0	3
<b>23,0</b>	28,1	100	0,0	0	<b>23,0</b>	27,3	91	2,6	2
					<b>24,0</b>	29,9	100	0,0	0

$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$	$t'$	$e$	$f$	$d$	$n$
	$t = 25$					$t = 26$			
<b>11,0</b>	2,0	6	29,7	32	<b>19,0</b>	17,2	54	14,5	11
<b>12,0</b>	3,7	12	28,0	29	<b>20,0</b>	19,4	61	12,3	9
<b>13,0</b>	5,4	17	26,3	26	<b>21,0</b>	21,7	68	10,0	7
<b>14,0</b>	7,2	23	24,5	23	<b>22,0</b>	24,1	76	7,6	5
<b>15,0</b>	9,1	29	22,6	20	<b>23,0</b>	26,5	84	5,2	3
<b>16,0</b>	11,0	35	20,7	18	<b>24,0</b>	29,1	92	2,6	1
<b>17,0</b>	13,0	41	18,7	15	<b>25,0</b>	31,7	100	0,0	0
<b>18,0</b>	15,1	48	16,6	13					

Психрометрические таблицы составлены для целых градусов. Поэтому показания термометров следует округлять по следующему правилу. Если десятых долей меньше 5, их следует отбросить, если 5, то взять чётное число целых градусов, если больше 5 – к числу целых градусов прибавить единицу.

**Пример**

Сухой термометр аспирационного психрометра ( $t$ ) 22 °С, смоченный ( $t'$ ) 13 °С, давление воздуха ( $p$ ) – 1010 гПа. По сухому и смоченному термометрам находим поправочное число ( $n$ ), оно равно 19 (табл. 3). По поправочному числу ( $n$ ) и давлению воздуха ( $p$ ) находим поправку к смоченному термометру ( $\Delta t'$ ): она равна +0,6 (табл. 4). Прибавляем её к показанию смоченного термометра, получаем 13,6 °С и округляем её до 14 °С.

По сухому термометру ( $t$ ) 22 °С и исправленному смоченному термометру ( $t'$ ) 14 °С в таблице 3 находим характеристики влажности воздуха:  $e = 9,6$  гПа,  $f = 36\%$ ,  $d = 16,9$  гПа.

По упругости водяного пара 9,6 гПа в таблице 2 находим точку росы, равную 6°С.

По температуре сухого термометра 22 °С в таблице 1 находим давление насыщенного водяного пара  $E = 26,5$  гПа.

**4. Поправки к смоченному термометру ( $\Delta T'$ )**

Для аспирационного психрометра (все поправки со знаком +)											$p$	Для стационарного психрометра	
$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Значение $n$	$\Delta T'$
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1030	0...8	0,0
10	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5		9...24	-0,1
20	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8		25...32	-0,2
30	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1020	0...12	0,0
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3		13...32	-0,1
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1010	0...25	0,0
20	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9		26...32	-0,1
30	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1000	0...32	0,0
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	990	0...25	0,0
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6		26...32	+0,1
20	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	980	0...12	0,0
30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2		13...32	+0,1
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	970	0...9	0,0
10	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6		10...24	+0,1
20	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0		25...32	+0,2
30	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3			
10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7			
20	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0			
30	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3			
10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7			
20	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1			
30	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3			
10	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7			
20	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1			
30	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5			



## ШКАЛА БОФОРТА

**Шкала Бофорта** – двенадцатибалльная шкала, принятая Всемирной метеорологической организацией для приближённой оценки скорости ветра по его воздействию на наземные предметы или по волнению в открытом море. Средняя скорость ветра указывается на стандартной высоте 10 м над открытой ровной поверхностью.

Шкала разработана английским адмиралом Фрэнсисом Бофортом в 1806 году. С 1874 года принята для использования в международной синоптической практике. (Приводится в сокращении – только для наземных объектов).

Баллы	Словесные определения скорости (силы) ветра	Средняя скорость ветра, м/с	Средняя скорость ветра, км/ч	Характер воздействия ветра на суше
0	Штиль	0 – 0,2	<1	Безветренно. Дым поднимается вертикально, листья деревьев неподвижны.
1	Тихий	0,3 – 1,5	1 – 5	Направление ветра заметно по отношению дыма, но не флюгера.
2	Мелкий	1,6 – 3,3	6 – 11	Движение ветра ощущается лицом. Шелестят листья, приводится в движение флюгер.
3	Слабый	3,4 – 5,4	12 – 19	Листья и тонкие ветви деревьев всё время колышутся, ветер развивает лёгкие флаги.
4	Умеренный	5,5 – 7,9	20 – 28	Ветер поднимает пыль и мусор, приводит в движение тонкие ветви деревьев.
5	Свежий	8,0 – 10,7	29 – 38	Качаются тонкие стволы деревьев, движение ветра ощущается рукой.
6	Сильный	10,8 – 13,8	39 – 49	Качаются толстые сучья, гудят телеграфные провода.
7	Крепкий	13,9 – 17,1	50 – 61	Качаются стволы деревьев.
8	Очень крепкий	17,2 – 20,7	62 – 74	Ветер ломает сучья деревьев. Идти против ветра очень трудно.
9	Шторм	20,8 – 24,4	75 – 88	Небольшие повреждения, ветер начинает разрушать крыши зданий.
10	Сильный шторм	24,5 – 28,4	89 – 102	Значительное разрушение строений, ветер вырывает деревья с корнями.
11	Жёсткий шторм	28,5 – 32,6	103 – 117	Большие разрушения на значительном пространстве. Наблюдается очень редко.
12	Ураган	>32,6	> 117	Огромные разрушения, серьёзно повреждены здания, строения, постройки. Деревья вырваны с корнями. Очень редко.

## АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Абсолютная влажность воздуха** – плотность водяного пара в воздухе, выраженная числом граммов водяного пара в  $1 \text{ м}^3$  воздуха ( $\text{г}/\text{м}^3$ ).

**Абсолютная масса семян** – масса семян, высушенная до постоянного веса при влажности 14 %.

**Абсолютный максимум** – наибольшее (самое высокое) значение гидрометеорологической величины из всех наблюдавшихся за многолетний период в данном месте, области, стране, на полушарии, на всём земном шаре.

**Абсолютная температура** – температура воздуха или почвы, характеризующая период активной вегетации растений, выше биологического минимума, установленного для каждой фазы развития сельскохозяйственной культуры или для всего периода вегетации.

**Актинометр** – относительный прибор для измерения прямой солнечной радиации, поступающей на поверхность, перпендикулярную к солнечному лучу.

**Анемометр** – прибор для измерения скорости ветра (в некоторых конструкциях также и для направления ветра).

**Анеморумбограф** – самопишущий прибор для регистрации скорости и направления ветра.

**Анеморумбометр** – прибор для измерения параметров ветра, основанный на преобразовании значений скорости и направления ветра в электрические величины, отсчитываемые визуально по показаниям соответствующих электроизмерительных приборов.

**Анероид** – прибор для измерения атмосферного давления по величине деформации упругой металлической коробки, из которой удалён воздух.

**Аспирационный психрометр** – прибор для измерения влажности (до температуры  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и температуры воздуха в помещении и на открытом воздухе.

**Атмосферное давление** (А. д.) – сила, с которой столб воздуха от поверхности Земли до верхней границы атмосферы давит на единицу земной поверхности. Современной международной единицей измерения А. д. является *паскаль* (Па) – это давление, вызываемое силой в 1 ньютон (Н) на площадь  $1 \text{ м}^2$  ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н}/\text{м}^2$ ). В практике используют гектопаскаль (гПа):  $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$ ;  $1000 \text{ гПа} = 750 \text{ мм рт. ст.}$  А. д., равное массе ртутного столба высотой 760 мм, имеющего температуру  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и находящегося на широте  $45^\circ$  на уровне моря, называют *нормальным атмосферным давлением*. Округлённо оно составляет 1013 гПа.

**Атмосферное излучение** – собственное длинноволновое излучение атмосферы в области длин волн от 4 до 120 мкм.

**Балансомер** – прибор для измерения радиационного баланса деятельной (земной) поверхности. Абсолютным балансомером является пиргеометр Михельсона.

**Барограф** – прибор для непрерывной записи колебаний атмосферного давления.

**Барометр** – прибор для измерения атмосферного давления. По принципу действия различают: *жидкостные барометры*, основанные на законах гидростатики, преимущественно ртутные, атмосферное давление в них измеряется высотой столба жидкости; *металлические барометры* – *анероиды*, основанные на явлении упругих деформаций тел при колебаниях давления; *газовые барометры*, измеряющие давление по величине объема постоянного количества газа, изолированного от внешнего воздуха подвижным столбиком жидкости и др.

**Влажность воздуха** – содержание водяного пара в воздухе; одна из существенных характеристик среды обитания растений, погоды и климата. Характеризуется рядом величин: абсолютной влажностью, относительной влажностью, дефицитом насыщения водяного пара, температурой точки росы, удельной влажностью, парциальным давлением водяного пара.

**Вытяжной термометр** – почвенный термометр для измерения температуры на глубинах 40, 80, 160 и 320 см. *Синоним: Вытяжной почвенно-глубинный термометр.*

**Гигрометр** – прибор для измерения влажности воздуха. В зависимости от метода измерения, положенного в основу прибора, существуют различные его типы: весовой или абсолютный, волосной, психрометр, пленочный, электрический и др.

**Градиент температуры** (Г. т.) – *вертикальный вектор*, характеризующий изменение температуры ( $\Delta t$ ) в атмосфере на единицу расстояния ( $n$ ) по вертикали, взятое с обратным знаком  $\gamma = -\Delta t/\Delta n$ ; в тропосфере Г. т. составляет в среднем около  $0,65^\circ/100$  м; *горизонтальный вектор* относится чаще всего к расстоянию 100 км по нормали к изотерме. Порядок величин горизонтально-го Г. т. – десятые доли градуса на 100 км, но во фронтальных зонах он может достигать  $10^\circ\text{C}$  на 100 км.

**Даты устойчивого перехода температуры (через заданные пределы)** – определяются путём сопоставления положительных и отрицательных отклонений сумм средних суточных температур от того или иного заданного предела: 0, 5, 10, или  $20^\circ\text{C}$ . Первый день периода, сумма положительных отклонений температуры которого превышает сумму отрицательных отклонений, принимается за искомую дату. Эти показатели характеризуют периоды подъёма и спада средних суточных температур воздуха в течение календарного года, а также начало и окончание вегетационного периода растений.

**Дефицит влажности воздуха** – разность между насыщающей ( $E$ ) и фактической ( $e$ ) упругостью водяного пара при данных температуре и давлении:  $D = E - e$ . Или: недостаток влаги в воздухе, обусловленный превышением испарения (расход) над поступлением влаги (приход). *Синонимы: недостаток насыщения; дефицит насыщения.*

**Дефицит влаги (недостаток насыщения)** – величина, характеризующая недостаток влаги в почве до его полного увлажнения; равен разности между полной влагоёмкостью и фактической влажностью в данный момент времени. Выражается в мм слоя воды или в процентах от массы (или объёма) сухой почвы.

**Длинноволновая радиация** – электромагнитная радиация, испускаемая земной поверхностью и атмосферой, практически полностью в интервале волн от 4 до 120 мкм. *Синоним: длинноволновое излучение.*

**Засуха** – значительный по сравнению с нормой недостаток осадков в течение длительного времени весной и летом, при повышенных температурах воздуха, в результате чего иссякают запасы влаги в почве (путём испарения и транспирации) и создаются неблагоприятные условия для нормального развития растений, а урожай полевых культур снижается или гибнет.

**Коротковолновая радиация (К.Р.)** – солнечная радиация в диапазоне длин волн от 0,1 до 4 мкм. К.Р. включает, кроме видимой области спектра (0,40–0,76 мкм), невидимые – ультрафиолетовую (0,001–0,39 мкм) и инфракрасную радиации (от 0,76 мкм до неопределённого верхнего предела). Солнечная радиация на 99 % является коротковолновой.

**Лимитирующий фактор** – фактор жизни растений, находящийся в минимуме, например недостаток почвенной влаги в жаркую погоду (почвенная засуха).

**Люксметр** – фотометрический прибор для измерения освещённости, дающий показания в люксах.

**Метеорологическая величина** – общее название для ряда характеристик состояния воздуха и некоторых атмосферных процессов, прежде всего тех, которые наблюдаются и/или измеряются на метеорологических станциях и постах.

**Наземная сеть наблюдений (НСН)** – совокупность всех пунктов наблюдений, производящих наблюдения за состоянием и загрязнением окружающей среды, построенная в соответствии с масштабами природных процессов и явлений, а также с учётом потребностей народного хозяйства.

**Осадки** – вода в жидком или твёрдом состоянии, выпадающая из облаков или осаждающаяся из воздуха на поверхности земли и на предметах. Из облаков осадки выпадают в виде дождя, мороси, снега, мокрого снега, снежной и ледяной крупы, снежных зёрен, града, ледяного дождя, ледяных игл. Непосредственно из воздуха выделяются роса, иней, жидкий налёт, твёрдый налёт, изморозь.

**Погода (П.)** – непрерывно меняющееся состояние атмосферы. П. в данном месте в данный момент характеризуется совокупностью значений метеорологических элементов; П. за некоторый промежуток времени характеризуется последовательным изменением этих элементов или их средними значениями за взятый промежуток.

**Почвенный испаритель** – установка для определения испарения с поверхности почвы.

**Прямая радиация** – солнечная радиация, доходящая до места наблюдения в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от солнечного диска. При измерениях к ней присоединяется также рассеянная радиация околосолнечной области неба в телесном угле порядка  $10^\circ$ . *Синоним: прямая солнечная радиация.*

**Психрометрический метод** – метод измерения влажности воздуха по охлаждению тела при испарении с его поверхности.

**Плювиограф** – самопиसेц для регистрации количества жидких осадков, их интенсивности и времени выпадения.

**Радиация (Р.)** – энергетическая освещённость, создаваемая потоком излучения соответствующего источника: Солнца, атмосферы, земной поверхности и др. По спектральному составу различаются: *коротковолновая радиация, длинноволновая радиация, видимая радиация, ФАР, ультрафиолетовая радиация.* Единицей измерения мгновенных значений Р. служит киловатт на метр квадратный, кВт/м<sup>2</sup>.

**Радиационный баланс атмосферы (Р.б.а.)** – алгебраическая сумма радиации, поглощаемой (приходящей) и излучаемой (уходящей) атмосферой; включает коротковолновый и длинноволновый участки спектра. Р. б. а. сравнительно мало изменяется и в среднем по земному шару составляет около 70 ккал/(см<sup>2</sup> · год) (293,3 Дж/см<sup>2</sup>).

**Радиационный баланс земной поверхности (Р.б.з.п.)** – разность между поглощённой суммарной радиацией и эффективным излучением земной поверхности:  $R = (I+i)(1-\alpha) - (E_s - \delta E_a)$ , где  $I$  – прямая и  $i$  – рассеянная солнечная радиация,  $\alpha$  – альbedo поверхности,  $E_s$  – собственное излучение поверхности,  $E_a$  – встречное излучение атмосферы,  $\delta$  – относительный коэффициент поглощения длинноволновой радиации земной поверхностью. Средние климатологические его величины рассчитываются с помощью эмпирических формул по данным метеорологических наблюдений. Р. б. з. п. может быть положительным и отрицательным. *Синонимы: радиационный баланс подстилающей поверхности, радиационный баланс деятельной поверхности.*

**Сетевые наблюдения** – комплекс инструментальных и визуальных наблюдений и измерений, выполняемых на сети метеорологических (агрометеорологических) станций и постов.

**Тепловой баланс земной поверхности** – применение закона сохранения энергии к исследованию процессов влаго- и теплообмена в пределах рассматриваемых участков земной поверхности. Формой выражения теплового баланса является уравнение теплового баланса земной поверхности в виде  $R = LE + P + B$ , где  $R$  – радиационный баланс земной поверхности,  $P$  – турбулентный поток тепла между земной поверхностью и атмосферой,  $B$  – поток тепла между земной поверхностью и нижележащими слоями почвы или воды,  $LE$  – поток тепла, связанный с фазовыми преобразованиями воды, т. е. с испарением и (в меньшей степени) с конденсацией. *Синонимы: тепловой баланс деятельной поверхности, тепловой баланс подстилающей поверхности.*

**Теплооборот почвы** – передача тепла от поверхности вглубь почвы и обратно в течение определенного промежутка времени; обычно говорят о суточном и годовом Т. п. От восхода солнца до 12–13 ч почва обычно получает больше тепла, чем отдаёт; точно так же весной и летом; в остальное время суток и года – наоборот. С апреля по сентябрь в почве накапливается тепло (в умеренных широтах), осенью и зимой то же количество тепла уходит из почвы в воздух.

**Термометры Савинова (Т.С.)** – почвенные термометры, представляющие собой ртутные термометры с капилляром, удлинённым в участке между резервуаром и началом шкалы и изогнутым в этой части под углом 135°. Удлинение капилляра определяется глубиной погружения термометра. Т.С. устанавливают на метеорологических станциях сериями на тёплый сезон для производства наблюдений на глубинах 5, 10, 15, 20 см. *Синоним: коленчатый термометр.*

**Точка росы (Т.р.)** – температура, при которой воздух достигает состояния насыщения (по отношению к воде) при данном содержании водяного пара и неизменном атмосферном давлении. При относительной влажности меньше 100 % Т. р. всегда ниже фактической температуры воздуха; разность этих температур тем больше, чем меньше относительная влажность; поэтому, чтобы довести температуру воздуха до Т. р., воздух нужно охладить. При насыщении, т. е. при относительной влажности  $f = 100\%$ , фактическая температура воздуха совпадает с Т. р. *Синоним: температура точки росы.*

**Часовой пояс** – 15-градусный пояс земной поверхности между определёнными меридианами, для всей территории которого принимается одно и то же поясное время, именно время среднего меридиана данного пояса. Границы поясов практически не совпадают с соответствующими меридианами, местами отклоняясь от них в силу политических, административных и экономических условий.

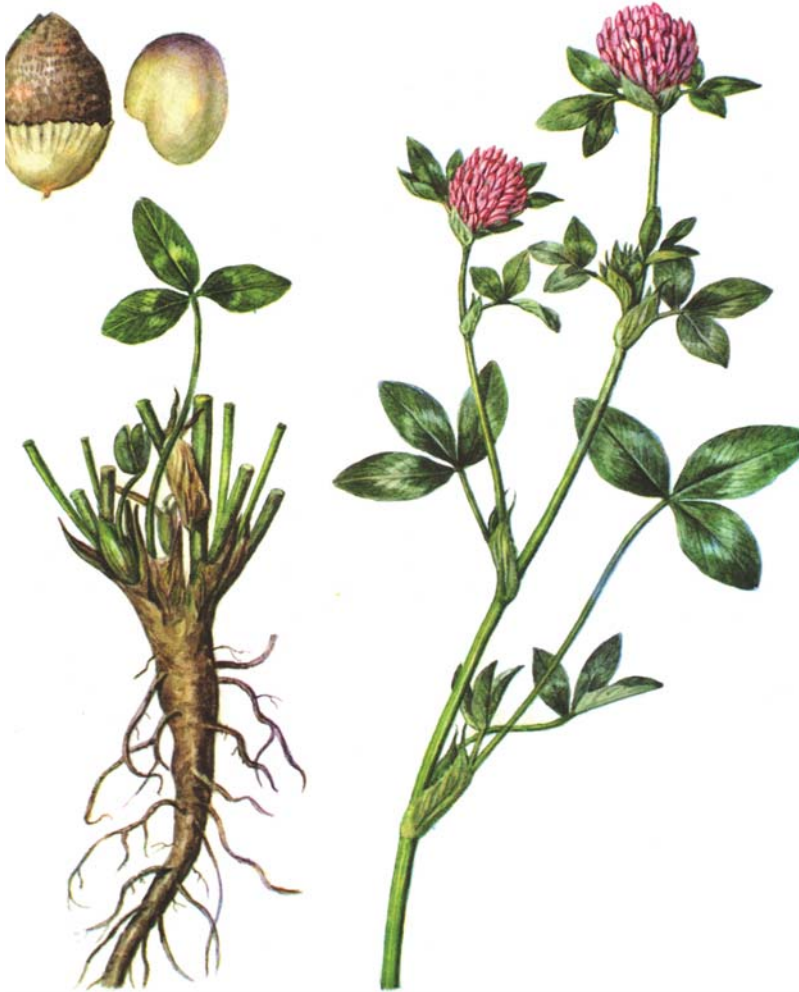
**Штормовое предупреждение (Ш.п.)** – прогноз возникновения опасного природного явления. Применительно к с.-х. производству агрометеорологи подают Ш. п. при ожидаемых заморозках, сильных ветрах, пыльных бурях, суховеях, длительных обильных осадках и т. д.

**Эффективная температура** – в сельскохозяйственной метеорологии это активная температура, уменьшенная на значение биологического минимума температуры (нижнего порога развития растений) и не выходящая за пределы верхнего порога развития.

**Эффективное излучение** – разность между собственным излучением земной поверхности  $E_s$  и встречным излучением атмосферы  $E_a$ .

## ОСНОВНЫЕ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ СЕЯНЫХ ТРАВ

(Рисунки из книги С. И. Дмитриева, В. Г. Игловикова, Н. С. Конюшкова, В. М. Раменской «Растения сенокосов и пастбищ», Изд-во «Колос». М. 1974. 195 с.)



**Клевер красный**

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*

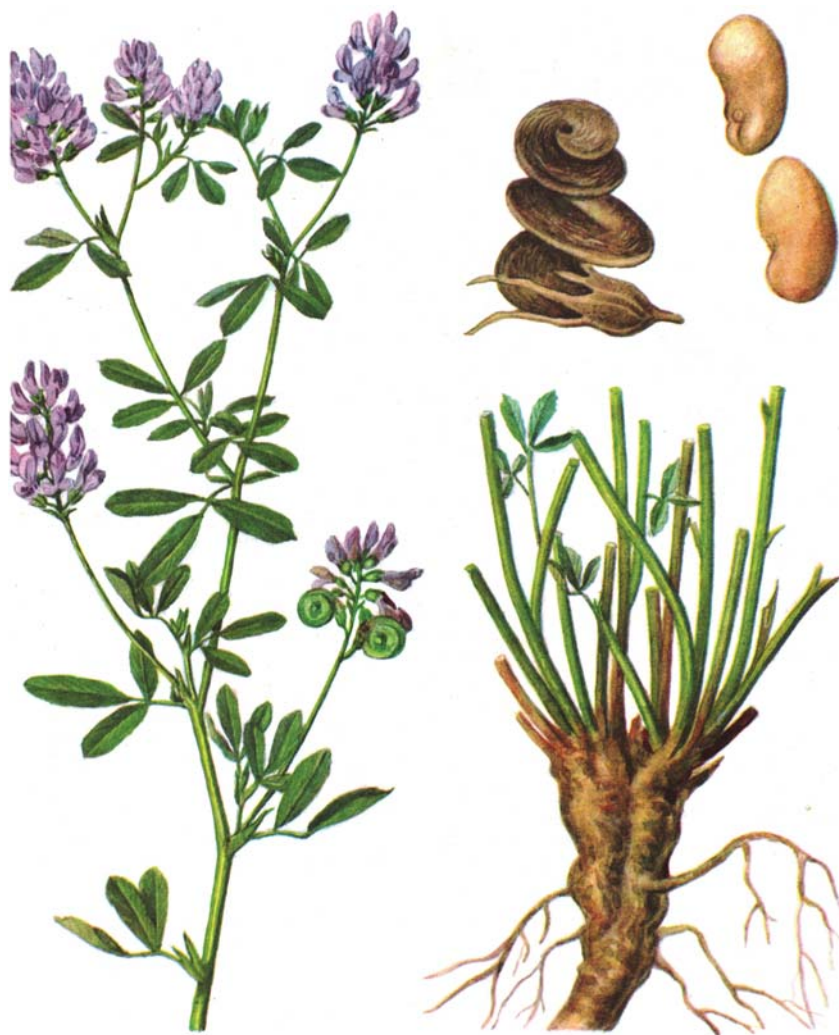




***Козлятник восточный***

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*





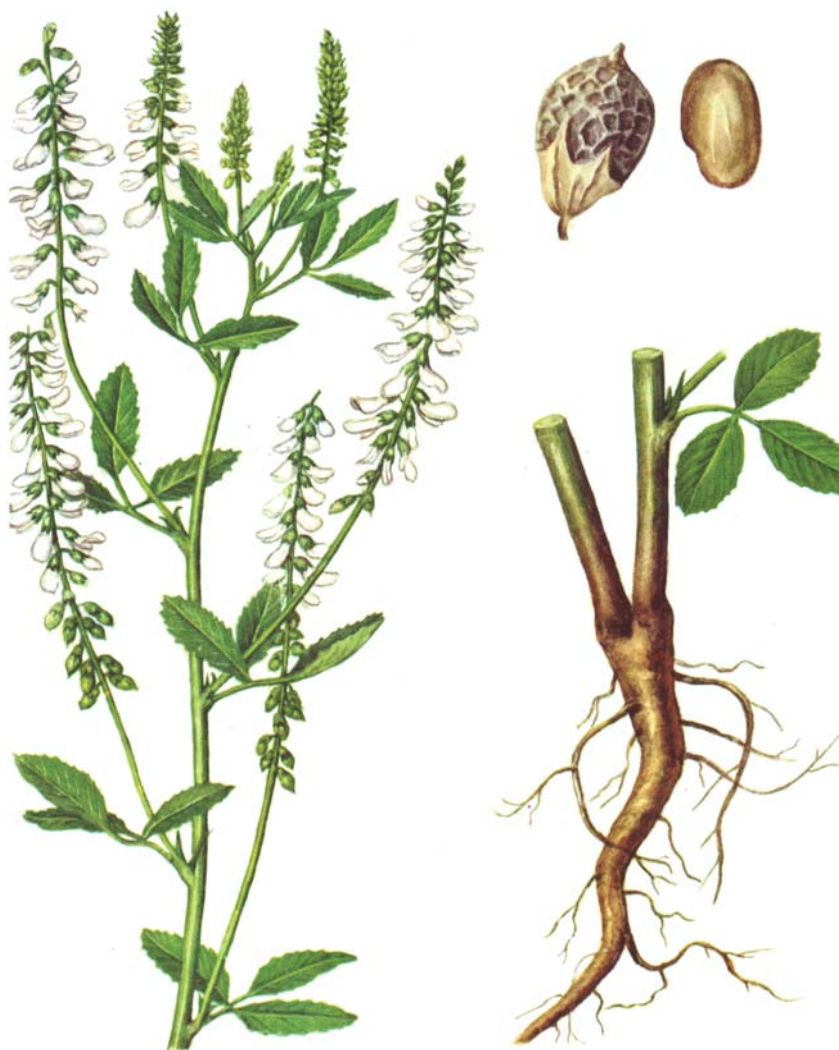
**Люцерна синяя**

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*



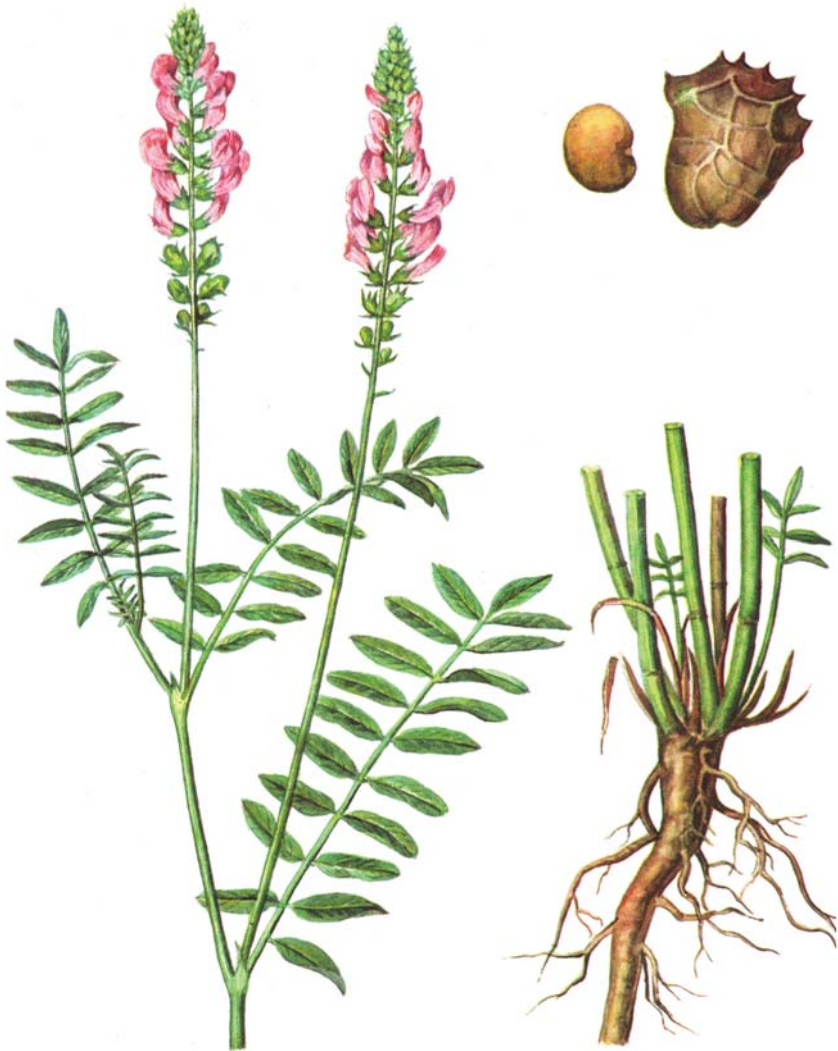
**Вика (горошек мышиный)**

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*



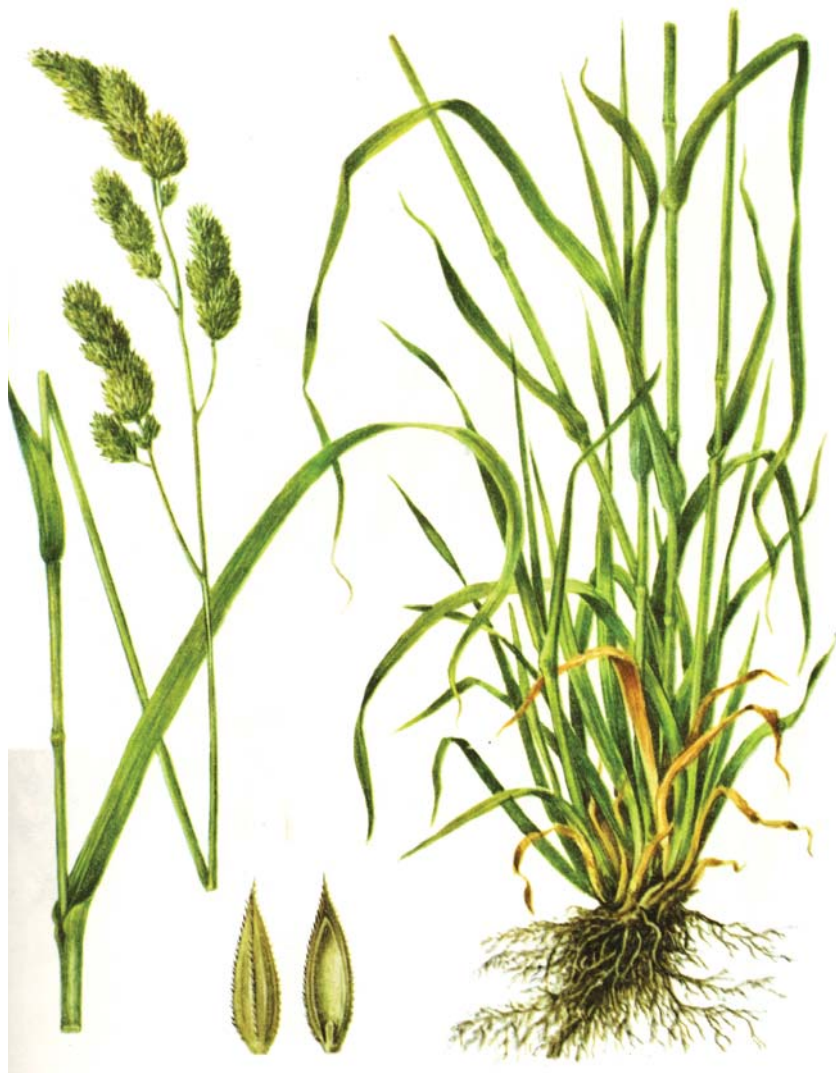
**Донник белый**

Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена



**Эспарцет посевной**

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*



***Ежа сборная***

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*





**Костер безостый**

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*



**Мятлик луговой**

Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена



***Овсяница луговая***

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*





***Райграс многоукосный***

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*



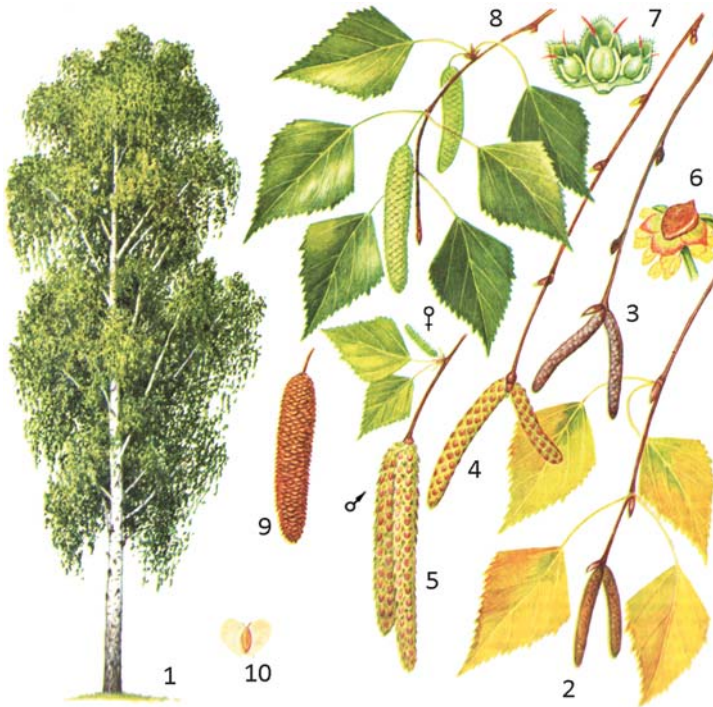
***Тимофеевка луговая***

*Общий вид растения в фазу цветения, корневая система и семена*

## ОСНОВНЫЕ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ ДИКОРАСТУЩИХ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ

### Листопадные древесно-кустарниковые формы

(Лесная энциклопедия. Тома 1 и 2. Москва. «Советская энциклопедия». 1985.)



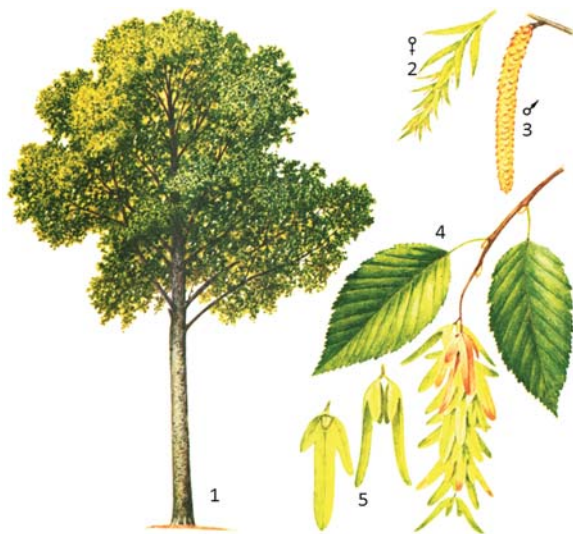
#### *Берёза повислая:*

- 1 – общий вид; 2 – осенняя ветвь с заложившимися листовыми и тычиночным почками; 3 – зимняя ветвь; 4 – весенняя ветвь с тронувшимися в рост листовыми и тычиночными почками; 5 – ветвь с тычиночными (мужскими ♂) и пестичными (женскими ♀) серёжками; 6 – мужской цветок; 7 – женский цветок; 8 – ветвь с плодовыми серёжками; 9 – зрелая плодовая серёжка; 10 – плод – крылатый орех



**Вяз (Ильм) гладкий:**

- 1 – общий вид; 2 – раскрывающиеся цветочные почки; 3 – цветок;  
4 – облиственный побег; 5 – ветвь с плодами;  
6 – осеннее расцвечивание листьев



**Граб обыкновенный:**

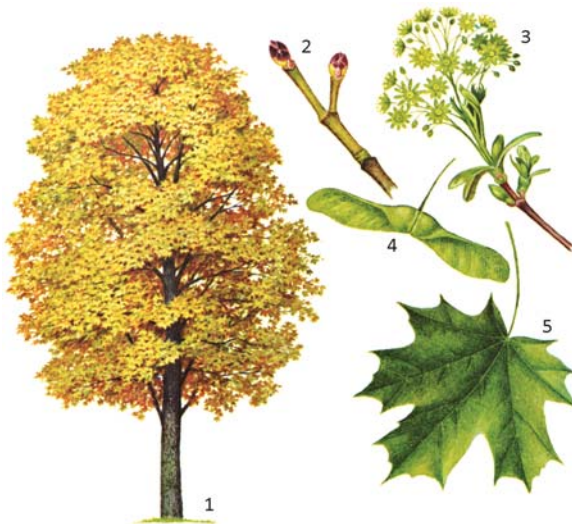
- 1 – общий вид дерева; 2 – женское соцветие (♀); 3 – мужское соцветие (♂);  
4 – ветвь с соплодиями; 5 – обёртки с орешками





**Дуб черешчатый:**

1 – общий вид; 2 – цветущая ветвь, пестичные (женские ♀) и тычиночные (мужские ♂) цветки; 3 – весенний побег; 4 – жёлуди с черешком; 5 – проросший жёлудь; 6 – осеннее расцвечивание листа



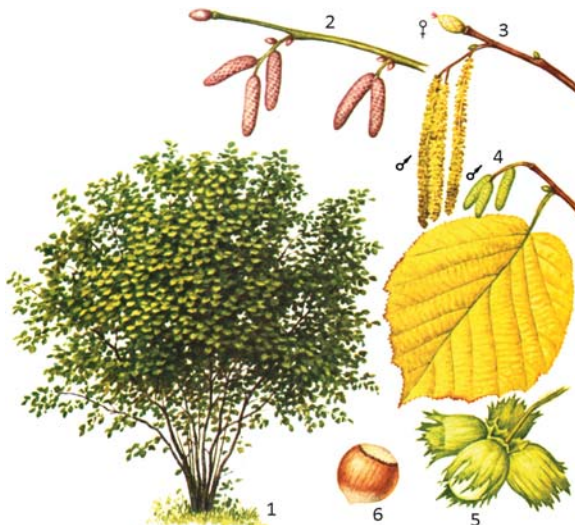
**Клён остролистный:**

1- общий вид (осенняя раскраска); – безлистный побег; 3 – цветущий побег; 4 – крылатка; 5 – лист



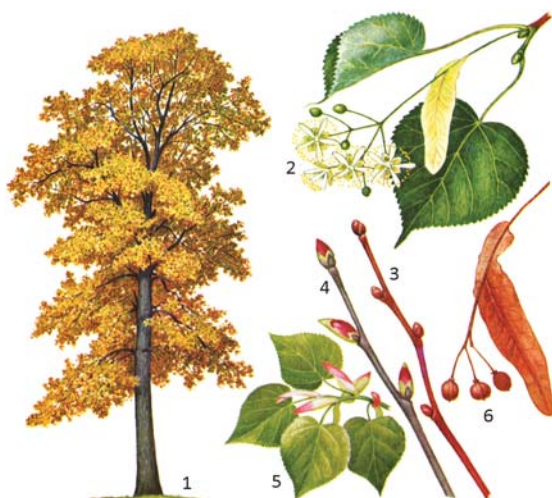
**Каштан конский:**

1 – общий вид; 2 – соцветие; 3 – обоеполый цветок; 4 – тычиночный  
цветок; 5 – плод; 6 – весенняя почка; 7 – осенний лист



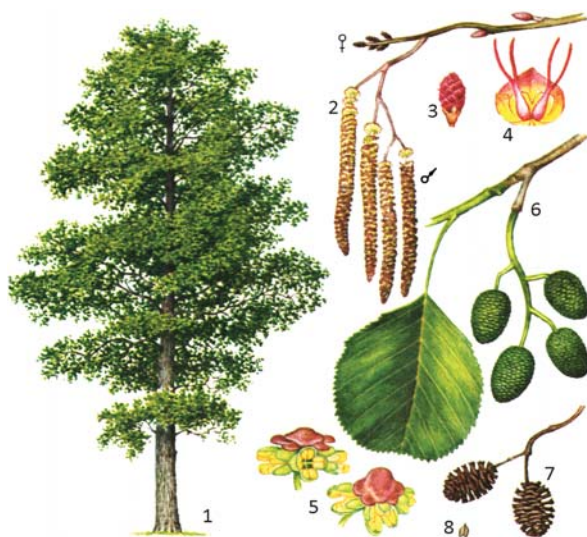
**Лещина (орешник) обыкновенная:**

1 – общий вид куста; 2 – ветвь зимой с мужскими (♂) соцветиями и листовой  
почкой; 3 – часть побега весной с мужскими (♂) серёжками и женским (♀)  
цветком; 4 – часть побега осенью с мужскими (♂) соцветиями следующего  
года; 5 – соплодие (плоды окружены плюсками); 6 – зрелый орех



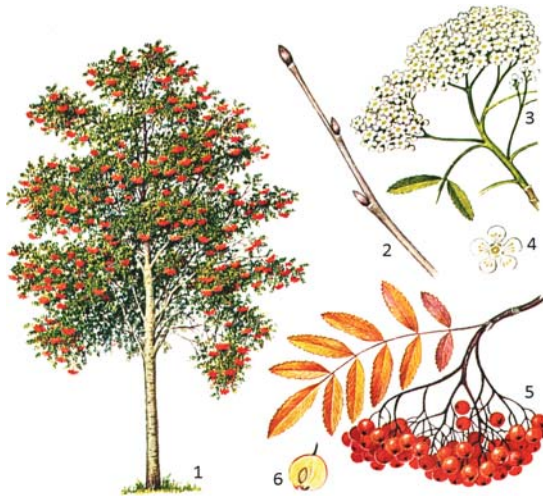
**Липа мелколистная:**

- 1 – общий вид дерева осенью; 2 – цветущая ветвь; 3 – побег зимой;  
4 – весенний побег; 5 – облиственный весенний побег;  
6 – зрелое соплодие липы



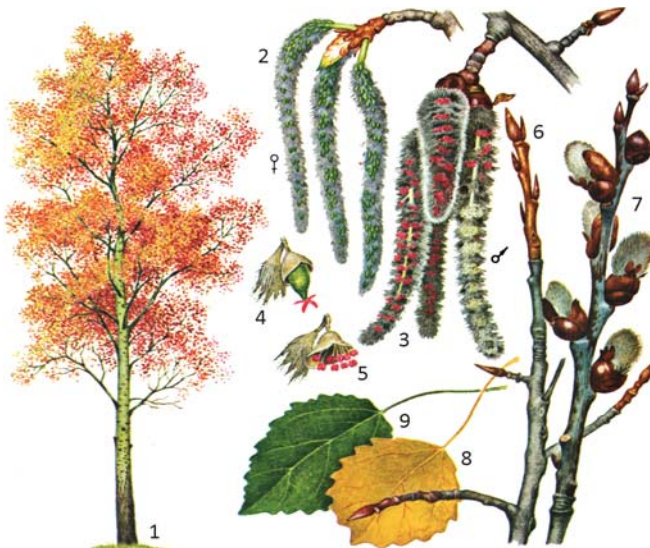
**Ольха чёрная:**

- 1 – общий вид; 2 – ветвь с мужскими (♂) серёжками и женскими (♀)  
соцветиями; 3 – женское соцветие; 4 – женский цветок; 5 – мужские цветки;  
6 – ветвь с нераскрывшимися соплодиями (шишечками);  
7 – раскрывшиеся шишечки; 8 – семянка



**Рябина обыкновенная:**

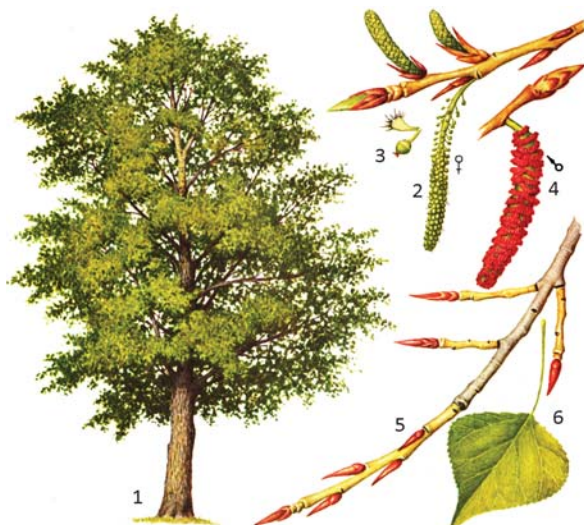
1 – общий вид; 2 – побег с почками; 3 – ветвь с листьями и соцветиями;  
4 – цветок; 5 – ветвь с листьями и плодами; 6 – плод в поперечном разрезе



**Осина:**

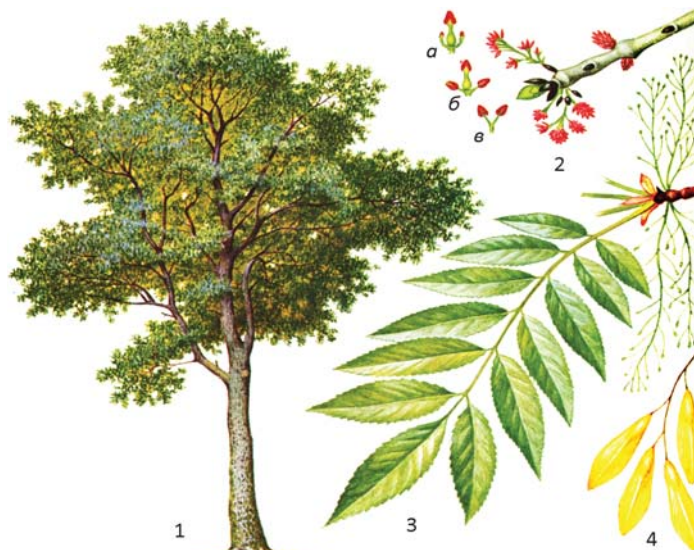
1 – общий вид осенью; 2 – цветущий побег (женские ♀ серёжки);  
3 – цветущий побег (мужские ♂ серёжки); 4 – женский (♀) цветок;  
5 – мужской (♂) цветок; 6 – зимний побег; 7 – весенний побег;  
8 – лист осины; 9 – лист порослевого побега осины





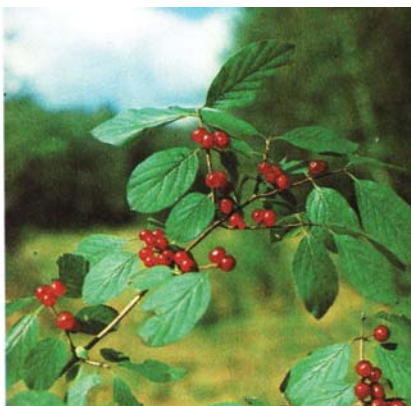
**Тополь чёрный:**

1 – общий вид; 2 – побег с женской (♀) серёжкой; 3 – плод;  
4 – побег с мужской (♂) серёжкой; 5 – порослевой побег; 6 – лист

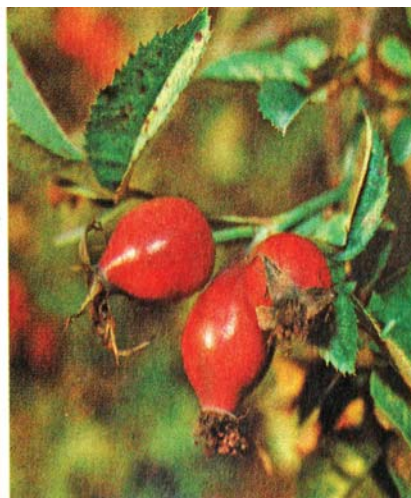


**Ясень обыкновенный:**

1 – общий вид; 2 – укороченный побег с пучками цветков (а – пестичный,  
б – обоеполый, в – тычиночный); 3 – часть побега с листом и мелкими  
плодиками; 4 – плоды



*Слева – Жимолость Мака. Справа – Жимолость обыкновенная.  
Кустарники в плодах*



*Шиповник – дикорастущие виды розы.  
Слева – фаза цветения. Справа – фаза плодоношения*

## ПОЧВЕННЫЕ РАЗРЕЗЫ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВЫ РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(По материалам книги Афанасьевой Т.В., Василенко В.И., Терешинной Т.В.,  
Шеремет Б.В. «Почвы СССР», М.: «Мысль», 1979. С. 380)

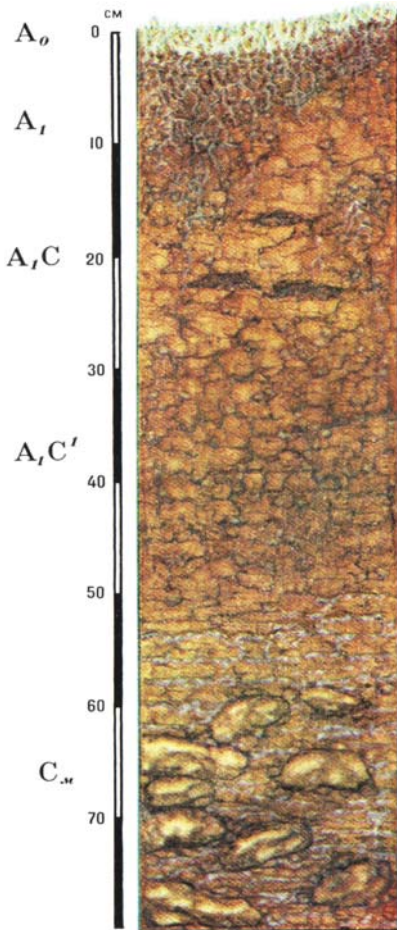


Рис. 1. Пустынно-арктическая почва

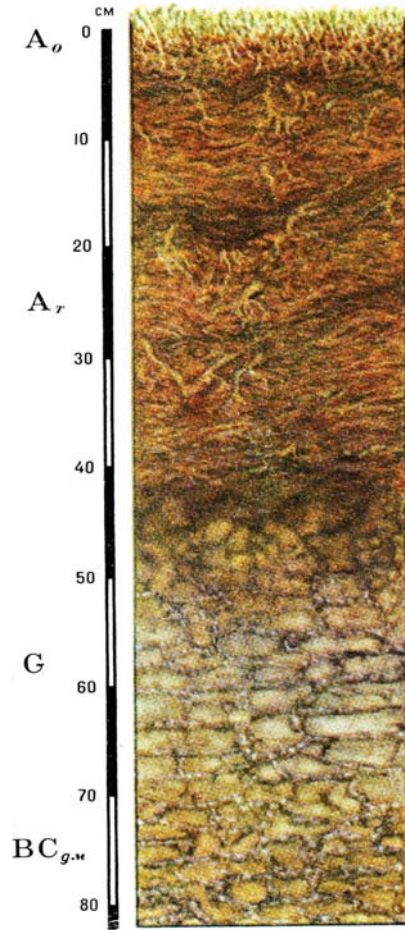


Рис. 2. Арктическая болотная почва



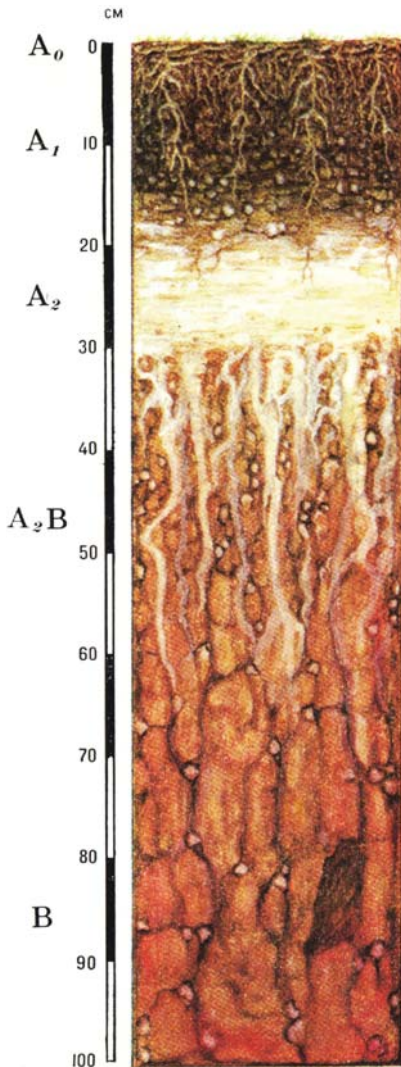


Рис. 3. Дерново-подзолистая почва

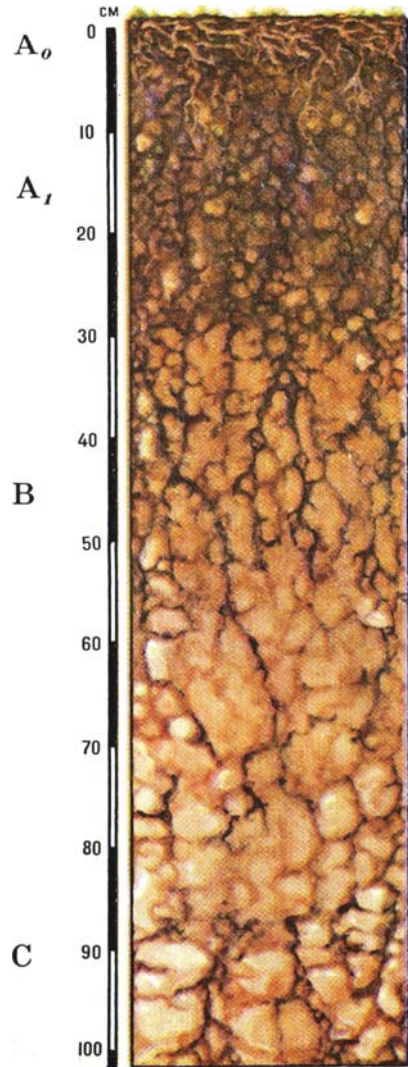


Рис. 4. Дерново-карбонатная выщелоченная почва (таёжно-лесных областей)

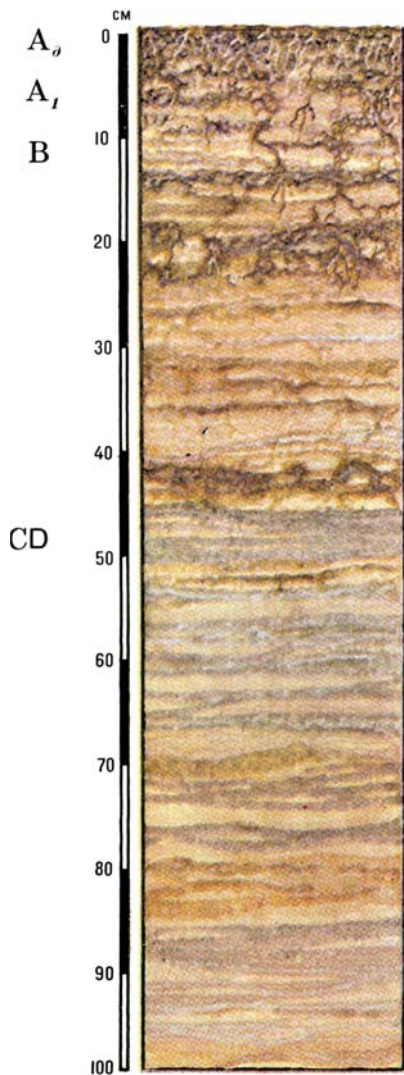


Рис. 5. Аллювиальная дерновая  
кислая слоистая почва

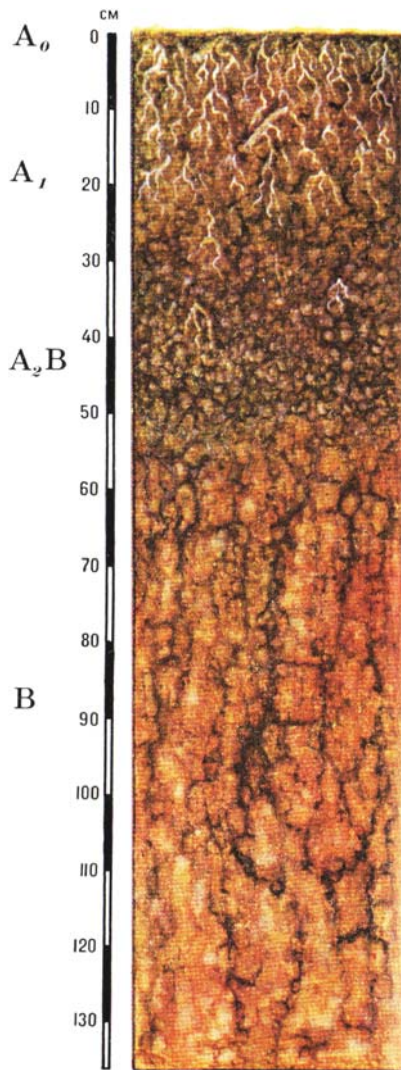


Рис. 6. Серая лесная почва

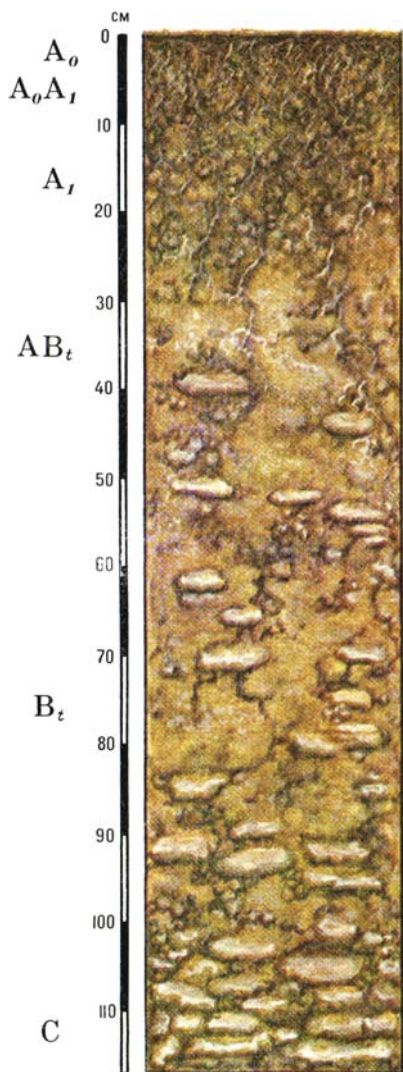


Рис. 7. Бурая лесная кислая почва

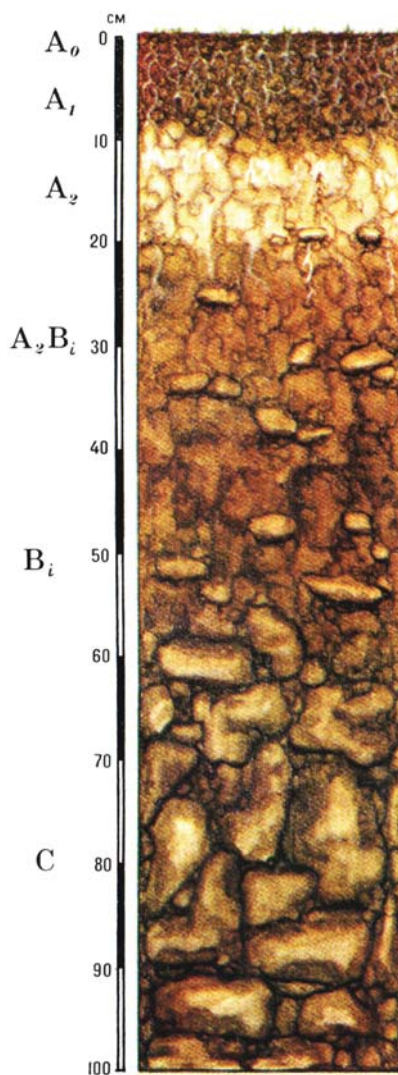


Рис. 8. Подзолисто-бурая лесная почва (кавказская)



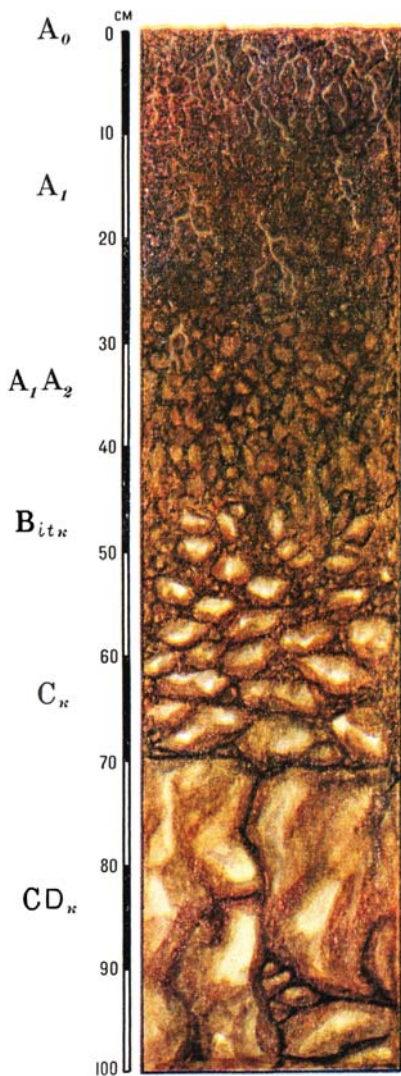


Рис. 9. Дерново-карбонатная  
выщелоченная почва

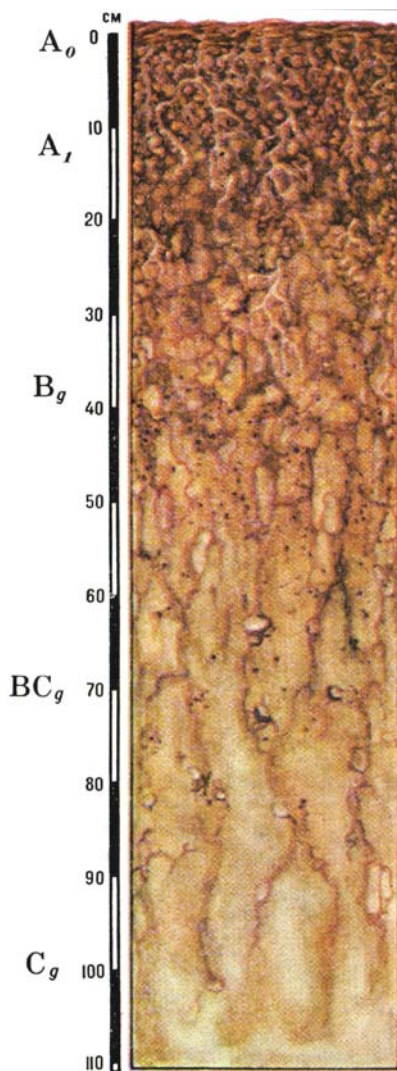


Рис. 10. Бурая лесная глеевая  
почва грунтового и смешанного  
увлажнения

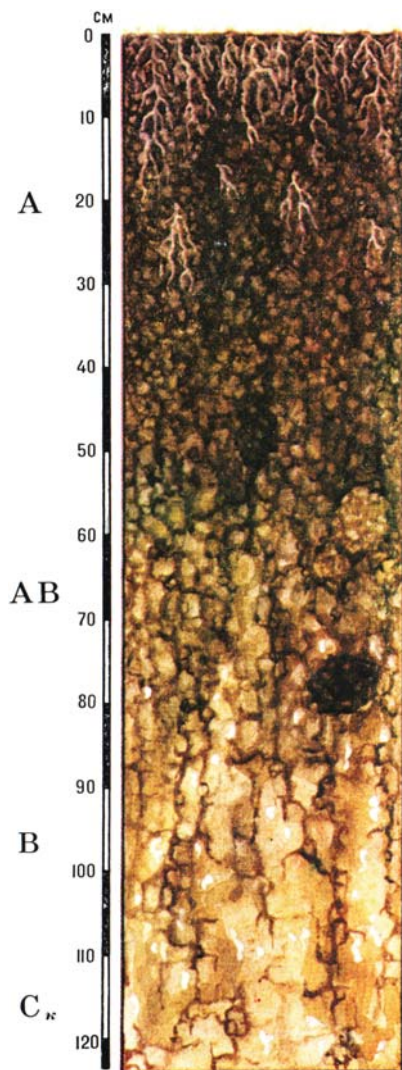


Рис. 11. Чернозём выщелоченный, умеренно тёплый, промерзающий

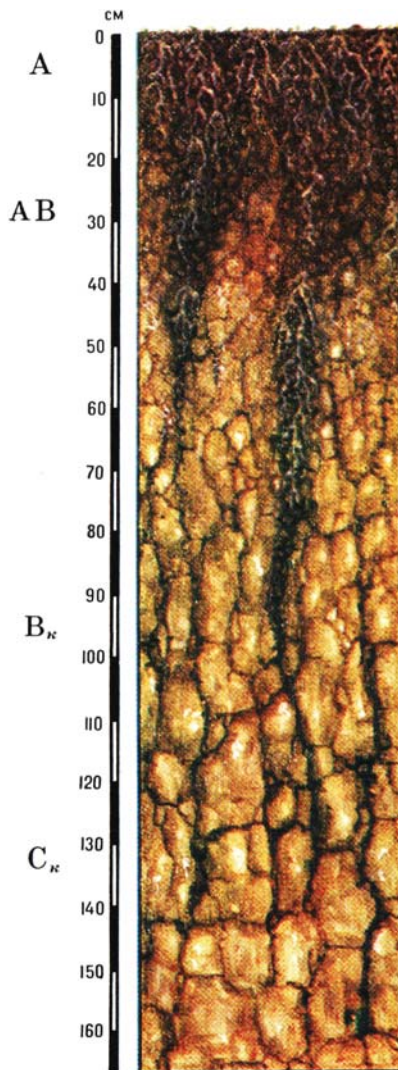


Рис. 12. Чернозём южный



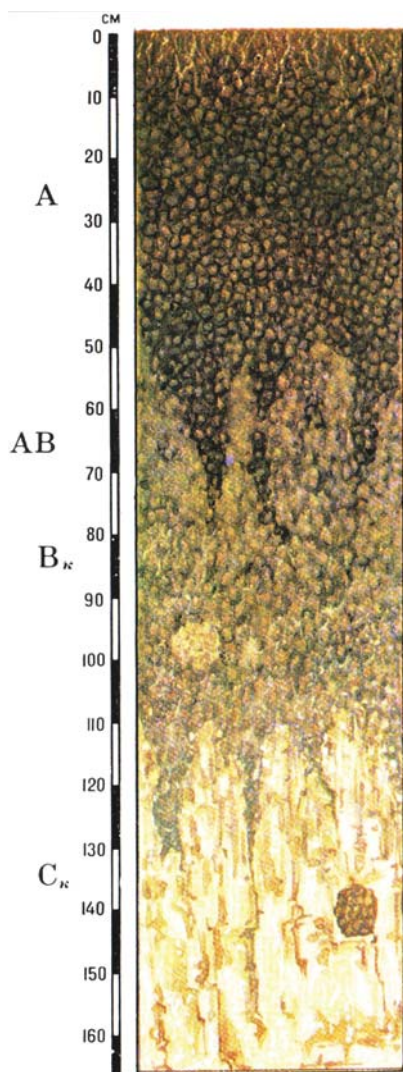


Рис. 13. Чернозём типичный

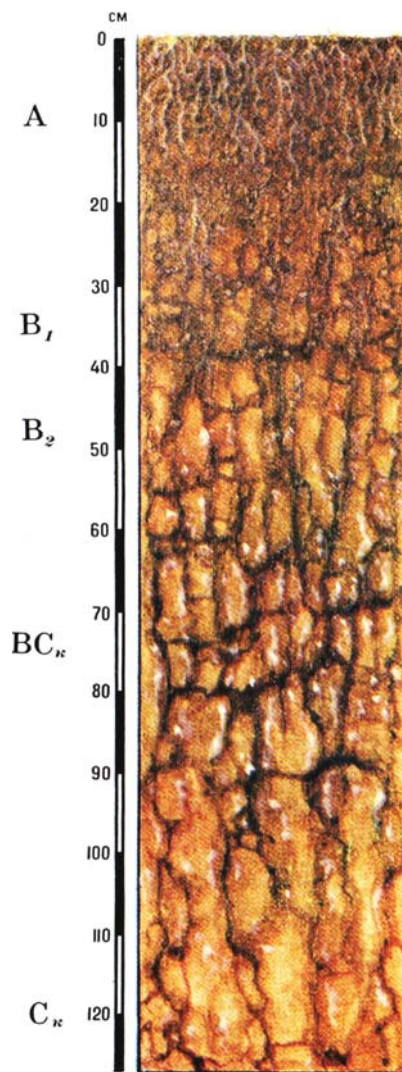


Рис. 14. Каштановые почвы

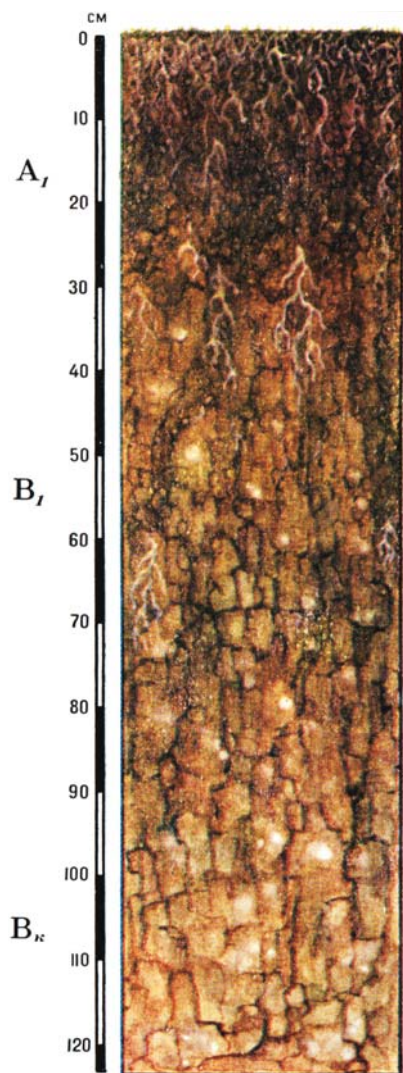


Рис. 15. Лугово-каштановые почвы

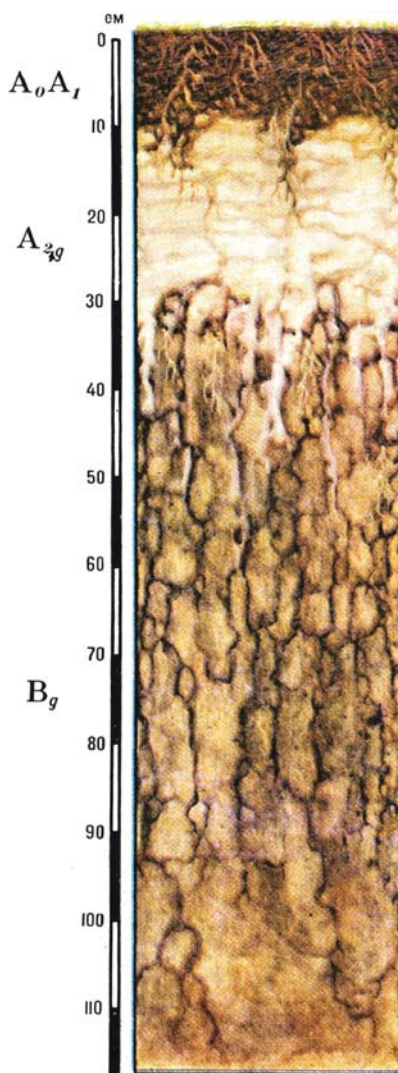


Рис. 16. Солодь лугово-болотная

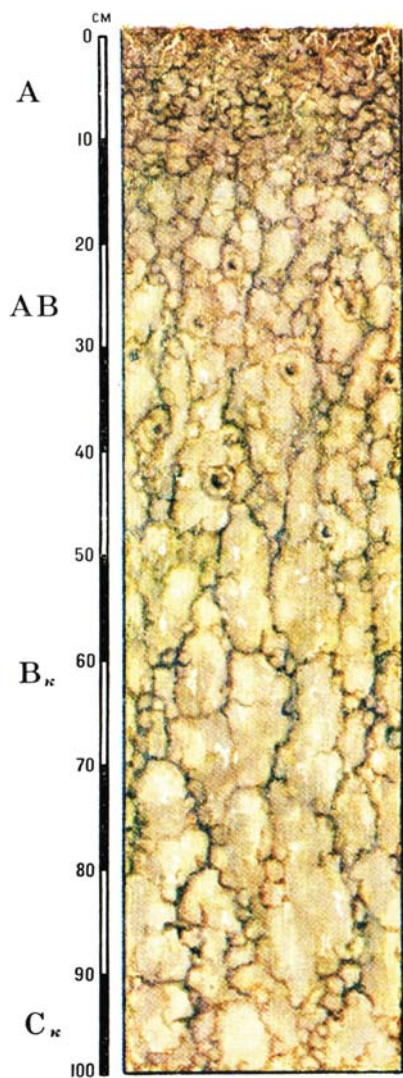


Рис. 17. Серозём

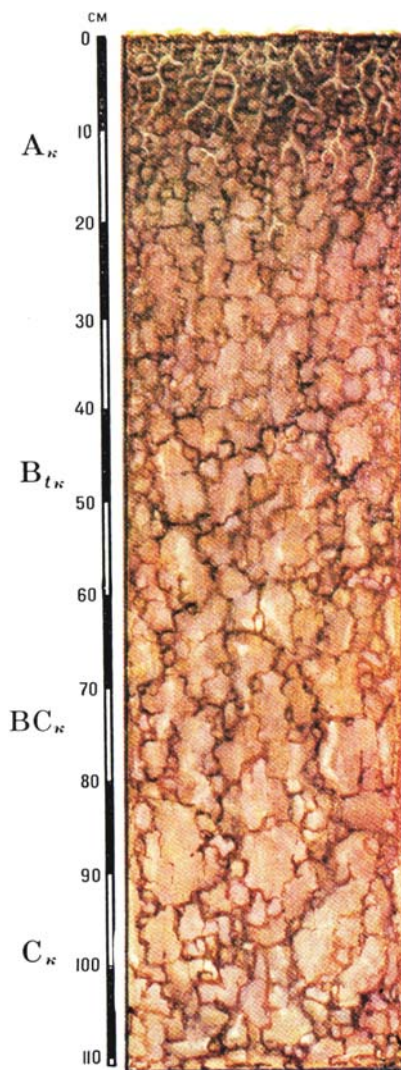


Рис. 18. Серо-коричневая  
обыкновенная почва



## Рекомендуемая литература

1. **Белолобцев А. И., Сенников В. А., Асауляк И. Ф., Коровина Л. Н., Авдеев С. М.** Практикум по агрометеорологии и агрометеорологическим прогнозам. Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений. Раздел 1. Метеорологические приборы и наблюдения. М. 2015. С. 1 – 142.
2. **Беляева Н. А., Кузеева Н. Г., Наумов Э. П. и др.** Производство и первичная обработка метеорологических и актинометрических наблюдений // Учебно-методическое руководство. Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2008. 29 с.
3. **Беспалов Б. Д., Девяткин А. М. Довгальюк Ю. А. и др.** Атлас облаков. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2006. 248 с.
4. **Васильев А. А., Вильфанд Р. М.** Прогноз погоды. ГМЦ России. М. 2008. 60 с.
5. **Грингоф И. Г., Пасечнюк А. Д.** Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. Учебник для гидрометеорологических средних специальных учебных заведений Росгидромета. Глава 1, раздел 1.1. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2005. С. 30 – 39, 63 – 84, 520 – 534.
6. **Грингоф И. Г., Клещенко А. Д.** Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 1. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Гидрометеорология» и специальностям «Метеорология» и «Агрономия». Часть 1. Глава 2, раздел 2.1 Солнечная радиация. Обнинск, 2011. С. 19 – 28.
7. **Изменение № 1**, 2002. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 2. Часть 1. Метеорологические наблюдения на постах. 1985. 16 с.
8. **Изменение № 2**, 2002. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3. Часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. 1985. 10 с.
9. **Лосев А. П.** Сборник задач и вопросов по агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 144 с.
10. **Лосев А. П., Журина Л. Л.** Агрометеорология // Учебник для студентов вузов по агрономическим специальностям. М.: «Колос», 2001. Глава 4. С. 69–83.
11. **Наставление** гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3. Часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеиздат. 1985. С. 10 – 20, 28 – 36, 36 – 50, 51 – 70, 145 – 156.
12. **Павлова М. Д.** Практикум по агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 13 – 100, 168 – 170.
13. **Российский** гидрометеорологический словарь / Под ред. А. И. Бедрицкого. Том 1 (А – И), Санкт-Петербург: Изд-во «Летний сад», 2008. 333 с. Том 2 (К – П). Санкт-Петербург: Изд-во «Летний сад», 2009. 309 с. Том 3 (Р – Я). Санкт-Петербург: Изд-во «Летний сад», 2009. 213 с.

14. **РД 52.04.562 – 96.** Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 5. Актинометрические наблюдения. Часть 1. Актинометрические наблюдения на станциях. ГГО им. А.И. Воейкова. 1996. 42 с.

15. **РД 52.33.217 – 99.** Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 11. Часть I. Книга 1. 5-е изд. М., 2000. Раздел 7. С. 53 – 57.

16. **РД 52.33.632 – 2002.** Методические указания. Температура почвы в пахотном слое, на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав. Методика выполнения измерений термометром АМТ-2. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2002. 15 с.

17. **РД 52.33.694 – 2008.** Температура почвы. Методика выполнения измерений термометром УМКТ-1(А). Обнинск. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. 7 с.

18. **Руководство** по определению агрогидрологических свойств почв. 4-е изд. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2002. 150 с.

19. **Стернзат М. С.** Метеорологические приборы и измерения. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. Главы 1, 2, 5. С. 22 – 67, 68 – 98, 147 – 153, 154 – 180, 186 – 221.

20. **Толковый** словарь по сельскохозяйственной метеорологии / Кол. авторов. Ред. Совет. Сопредседатели: И. Г. Грингоф и А. М. Шамен. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. 2002. С. 18 – 371.

21. **Хромов С. П., Петросянец М. А.** Метеорология и климатология. Учебник для вузов: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова. Изд-во «КолосС», 2004. С. 38 – 78, 271 – 365.

22. **Чирков Ю. И.** Агрометеорология. Учебник для вузов. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. С. 20 – 25, 25 – 59.

23. **Шерстюков Б. Г., Булыгина О. Н., Разуваев В. Н.** Современное состояние климатических условий Калужской области и их возможные изменения в условиях глобального потепления. Обнинск, 2001. С. 68 – 111.

#### **Интернет-ресурсы:**

24. <http://pandia.org/text/78/429/69424.php>
25. <http://meteonet.ru/observ.php?d=20070323>
26. <http://pandia.ru/text/78/429/69424.php>
27. [http://ellib.library.isu.ru/docs/geograf/p2296\\_B2\\_11772.pdf](http://ellib.library.isu.ru/docs/geograf/p2296_B2_11772.pdf)
28. <http://ru-ecology.info>
29. <http://studopedia.net>
30. <http://easy-physic.ru>
31. <http://meteorologist.ru>
32. <http://www.handworker.ru>
33. <https://ru.wikipedia.org>
34. <http://www.laborkomplekt.ru>
35. <http://laborant.ru/measurment/sreda/anemometers/ms-13.html>

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- А** – Агрометеорологическая станция  
**ГМБ** – Гидрометеорологическое бюро  
**ГМО** – Гидрометеорологическая обсерватория  
**КСХ-1м** – Книжка для агрометеорологических наблюдений в вегетационный период (сезонная)  
**КСХ-1П** – Книжка для записи агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства (сезонная)  
**КСХ-2м** – Книжка для агрометеорологических наблюдений в осенне-зимне-весенний период (сезонная)  
**КСХ-3** – Книжка для записи наблюдений за влажностью почвы (месячная)  
**КСХ-8м** – Книжка для записи результатов маршрутных агрометеорологических наблюдений и обследований сельскохозяйственных угодий в сельскохозяйственном году (сезонная)  
**КСХ-12** – Книжка для записи агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений и обследований в районах северного животноводства (сезонная)  
**МГУ им. М. В. Ломоносова** – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
**НГЯ** – неблагоприятное гидрометеорологическое явление  
**НИИ** – научно-исследовательский институт  
**НИУ** – научно-исследовательское учреждение  
**НП** – наблюдательное подразделение (сетевое)  
**НПО** – научно-производственное объединение  
**ОАЯ** – опасное агрометеорологическое явление  
**ОЯ** – опасное явление  
**РГАУ-МСХ им. К. А. Тимирязева** – Российский Государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева  
**Росгидромет** – Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды  
**СИ** – Международная система единиц  
**С.-х.** – сельскохозяйственный  
**УГМС** – Межрегиональное или территориальное Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды  
**ФАР** – фотосинтетически активная радиация  
**ФГБУ «ВНИИСХМ»** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии» Росгидромета  
**ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» Росгидромета  
**ФГБУ ГМЦ России** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический центр России» Росгидромета  
**ФГБОУ ДПО «ИПК»** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов Росгидромета»  
**ЦКБ ГМП** – Центральное конструкторское бюро гидрометеорологического приборостроения Росгидромета  
**ЦГМС** – Центр (областной, краевой, республиканский) по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Часть I. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ</b> .....	6
<b>Глава 1. Организация метеорологических станций и постов</b> .....	6
1.1. Устройство метеорологической площадки станции .....	7
1.2. Сроки и программа производства метеорологических наблюдений на станции .....	10
1.3. Устройство метеорологической площадки поста .....	12
1.4. Сроки и программа производства метеорологических наблюдений на посту .....	14
1.5. Понятие о времени.....	20
<b>Глава 2. Измерение атмосферного давления</b> .....	23
2.1. Атмосферное давление. Единицы измерения.....	23
2.2. Приборы для измерения атмосферного давления.....	28
<b>Глава 3. Измерение лучистой энергии Солнца. Актинометрические измерения</b> .....	35
3.1. Радиационные потоки в атмосфере.....	35
3.2. Фотосинтетически активная радиация и расчёт её величин .....	40
3.3. Методы измерения радиационных потоков в атмосфере .....	42
3.4. Измерение радиационного баланса.....	48
3.5. Определение продолжительности солнечного сияния.....	50
<b>Глава 4. Измерение температуры почвы</b> .....	54
4.1. Виды термометров .....	54
4.2. Измерение температуры поверхности почвы.....	56
4.3. Измерение температуры почвы на различных глубинах .....	59
4.4. Современные средства измерения температуры почвы на глубинах (АМТ-5) .....	71
4.5. Измерение глубины промерзания почвы .....	73
<b>Глава 5. Измерение температуры воздуха</b> .....	75
<b>Глава 6. Измерение влажности воздуха</b> .....	82
6.1. Определение величин влажности воздуха.....	82
6.2. Приборы для измерения влажности воздуха .....	84
<b>Глава 7. Облака и погода</b> .....	94
7.1. Общая характеристика облаков .....	94
7.2. Облака верхнего яруса .....	98
7.3. Облака среднего яруса.....	100
7.4. Облака нижнего яруса.....	102



7.5. Облака вертикального развития .....	104
7.6. Местные признаки погоды. Определение по облакам вероятности выпадения осадков .....	110
<b>Глава 8. Измерение осадков и испарения .....</b>	<b>117</b>
8.1. Атмосферные осадки, снежный покров .....	117
8.2. Приборы для измерения осадков .....	119
8.3. Наблюдения за снежным покровом .....	125
8.4. Измерения и расчёт испарения и испаряемости .....	129
<b>Глава 9. Измерение элементов ветра .....</b>	<b>135</b>
9.1. Характеристики ветра, определяемые на метеорологических станциях .....	135
9.2. Приборы для измерения направления и скорости ветра .....	137
9.3. Роза ветров .....	144
<b>Часть II. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ .....</b>	<b>147</b>
<b>Глава 10. Особенности агрометеорологических наблюдений и измерений .....</b>	<b>147</b>
10.1. Программа агрометеорологических наблюдений и измерений в тёплый и холодный периоды года .....	148
10.2. Выбор, описание и организация наблюдательных агрометеорологических участков .....	150
10.3. Основные виды и методы агрометеорологических наблюдений на наблюдательных участках в тёплый период года .....	151
10.4. Наблюдения и общая визуальная оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур .....	160
<b>Глава 11. Фенологические наблюдения за фазами развития сельскохозяйственных культур, плодово-ягодных культур, винограда, сеяных трав и природных кормовых угодий .....</b>	<b>165</b>
11.1. Состав, сроки и правила проведения наблюдений .....	165
11.2. Основные фазы развития сельскохозяйственных культур .....	167
11.3. Основные фазы развития плодово-ягодных культур и винограда .....	184
11.4. Основные фазы развития сеяных трав и природных кормовых угодий .....	190
11.5. Основные фазы развития дикорастущих древесно-кустарниковых форм (берёза, дуб, клён, лиственница, осина, тополь, рябина и др.) .....	192
<b>Глава 12. Почвенная влага. Методы её измерения и оценки состояния .....</b>	<b>198</b>
12.1. Основные термины и определения почвенной влаги .....	198
12.2. Агрогидрологические свойства почвы (АГСП) и методы их определения .....	202
12.3. Визуальный метод определения влажности верхних слоёв почвы .....	216
12.4. Измерение влажности почвы термостатно-весовым способом .....	218

12.5. Измерение глубины весеннего промачивания почвы на сельскохозяйственных полях .....	227
<b>Глава 13. Неблагоприятные и опасные погодные условия для сельскохозяйственных культур в холодный период года .....</b>	<b>230</b>
13.1. Основные причины повреждения и гибели зимующих зерновых культур и многолетних трав .....	230
13.2. Неблагоприятные и опасные условия перезимовки плодовых культур и виноградников .....	234
13.3. Наблюдения за температурой, глубиной промерзания и оттаивания почвы, за снежным покровом на сельскохозяйственных полях и в садах .....	238
<b>Глава 14. Методы наблюдений и оценки состояния посевов сельскохозяйственных и плодовых культур в холодный период года .....</b>	<b>250</b>
14.1. Осеннее и весеннее обследование состояния посевов озимых зерновых культур и многолетних трав .....	250
14.2. Методы определения жизнеспособности озимых культур и многолетних трав зимой .....	253
14.3. Методы определения жизнеспособности побегов плодовых культур и винограда зимой .....	258
14.4. Весеннее обследование садов плодово-ягодных культур и виноградников .....	263
<b>Глава 15. Неблагоприятные и опасные погодные условия для сельскохозяйственных культур в тёплый период года. Методы их оценки и прогнозирования .....</b>	<b>266</b>
15.1. Типы заморозков .....	267
15.2. Методы оценки и прогноза вероятности заморозков .....	271
15.3. Методы защиты полевых и плодовых культур от заморозков .....	275
15.4. Засухи, суховеи и засушливые явления .....	277
15.5. Основные методы оценки засух .....	278
15.6. Методы оценки суховеев .....	281
15.7. Методы защиты от суховеев .....	283
15.8. Сильные ветры, пыльные бури и ветровая эрозия почвы. Критерии оценки .....	284
15.9. Сильные ливневые дожди, переувлажнение почвы и водная эрозия .....	286
15.10. Град и защита посевов от градобития .....	289
<b>Глава 16. Микроклимат ландшафтов и фитоклимат сельскохозяйственных полей .....</b>	<b>292</b>
16.1. Основные понятия. Учёт микроклимата в сельскохозяйственном производстве .....	292
16.2. Пути и методы улучшения микроклимата посевов сельскохозяйственных культур .....	299
16.3. Микроклиматические градиентные измерения и наблюдения .....	303

<b>Глава 17. Учебная практика по агрометеорологии</b> .....	322
17.1. Оценка агрометеорологических условий года.....	322
17.2. Характеристика агрометеорологических условий года.....	330
<i>Приложение 1. Часовые зоны</i> .....	335
<i>Приложение 2. Психрометрические таблицы</i> .....	337
<i>Приложение 3. Шкала Бофорта</i> .....	343
<i>Приложение 4. Агрометеорологические термины и определения</i> .....	344
<i>Приложение 5. Основные фазы развития сеяных трав</i> .....	349
<i>Приложение 6. Основные фазы развития дикорастущих древесно-кустарниковых растений</i> .....	361
<i>Приложение 7. Почвенные разрезы основных типов почвы растениеводческой зоны Российской Федерации</i> .....	369
<i>Рекомендуемая литература</i> .....	378
<i>Список сокращений</i> .....	380

---

**И. Г. Грингоф, З. С. Федорова, А. И. Белолубцев, С. Д. Малахова**

**ПРАКТИКУМ ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ**

**Часть I**

**Метеорологические измерения и наблюдения**

**Часть II**

**Агрометеорологические наблюдения и измерения**

Оригинал-макет подготовлен в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

Компьютерная вёрстка: *Н. Б. Хомченкова*

Корректоры: *Л. В. Гришкина, Н. А. Иванова*

Подписано к печати 20.07.2018 г. Формат 60×84/16.  
Печать офсетная. Печ. л. 22,32. Тираж 100 экз. Заказ № 17.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»,  
249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королёва, 6.