

**А. П. ЛОСЕВ**



# **ПРАКТИКУМ ПО**

## **АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМУ**

# **ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

Допущено Главным управлением  
высших учебных заведений  
Министерства сельского хозяйства  
и продовольствия Российской Федерации  
в качестве учебного пособия  
для студентов сельскохозяйственных вузов  
по агрономическим специальностям.



*Санкт-Петербург Гидрометеоиздат 1994*

Рецензент: заведующий кафедрой метеорологии Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, проф. В. А. Сенников

Практикум составлен в соответствии с программой курса «Агрометеорологическое обеспечение производства продукции растениеводства» для агрономических специальностей сельскохозяйственных вузов.

Излагаются основные теоретические вопросы, приводятся описание приборов и правила проведения измерений основных метеорологических величин, оказывающих влияние на продуктивность сельскохозяйственного производства.

Для облегчения выполнения практических работ приводятся формы записи наблюдений метеорологических и агроклиматических характеристик, примеры обработки агрометеорологической информации и анализа полученных результатов.

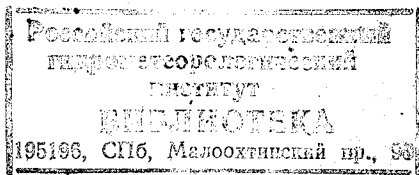
Практикум предназначен для преподавателей и студентов сельскохозяйственных вузов и может быть использован при изучении агрометеорологии в других высших и средних учебных заведениях.

The handbook „Practical Aid in Crop Farming Meteorology“ by A. Losev has been compiled according to the syllabus of the course of crop farming meteorology for the students of agronomy at the agricultural institutes. The chapters of the book contain the compactly arranged theory and a description of devices and rules for measuring the basic meteorological parameters influencing the efficiency of agricultural production.

The handbook gives some formats of recording and examples of processing meteorological and agroclimatic data, some examples of compiling agro-meteorological information and analysing the obtained results.

The handbook is meant for teachers and students of agricultural institutes and may be used by those involved in studying agro-meteorology at various educational institutions.

*Федеральная целевая программа книгоиздания России*



Л 3702030000-018 Без объявл.  
069(02)-94

© А. П. Лосев, 1994 г.

ISBN 5-286-01124-1

Уч. К. 1047

Светлой памяти моего руководителя,  
Юрия Ивановича Чиркова, крупнейшего  
агрометеоролога, профессора Московской  
сельскохозяйственной академии им. К. А. Ти-  
миряева

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый Практикум по курсу «Агрометеорологическое обеспечение производства продукции растениеводства» составлен в соответствии с программой курса технологии производства, хранения и первичной переработки продукции растениеводства для сельскохозяйственных вузов. Такой Практикум, охватывающий все разделы агрометеорологии, издается впервые. В нем излагаются основные теоретические положения, которые расширяют знание предмета и дают возможность провести предлагаемые лабораторные работы. При составлении Практикума обобщен многолетний опыт проведения лабораторно-практических занятий, накопленный автором и его коллегами по кафедре Плодовоовощного института имени И. В. Мичурина, а также использован опыт преподавания агрометеорологии в Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева. При составлении Практикума автором были использованы изданные ранее учебные и методические пособия, рекомендации и справочники: «Практические занятия по сельскохозяйственной метеорологии» (авт. В. И. Виткевич), «Практикум по агрометеорологии» (авт. М. Д. Павлова), «Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии» (под ред. И. Г. Грингофа), «Методы обработки наблюдений в агроклиматологии» (авт. Л. С. Кельчевская), «Методические указания к лабораторно-практическим занятиям по метеорологии» (авт. В. А. Сенников, Л. Г. Ларин, А. В. Стародубцев), «Методические указания к выполнению лабораторных работ по агрометеорологии» (авт. А. П. Лосев, В. С. Коробков). Кроме того, использованы результаты агрометеорологических исследований, полученные Е. С. Улановой, В. А. Моисейчик и др. Глава 16 Практикума написана совместно с В. А. Сенниковым.

Практикум составлен для проведения практических занятий по всем темам агрометеорологии. Каждая лабораторная работа выполняется после краткого изложения теории, что позволяет использовать данное пособие для заочного обучения. Для выполнения некоторых работ требуются агроклиматические характеристики и метеорологические сведения с ближайшей станции.

Практикум является учебным пособием по агрометеорологическому обеспечению производства продукции растениеводства сельскохозяйственных вузов. Он может также использоваться при изучении агрометеорологии в других высших и средних учебных заведениях. Практикум поможет студентам приобрести практиче-

ские навыки в использовании метеорологической информации для разработки интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур с учетом агрометеорологических условий конкретного года.

При подготовке Практикума к печати большую помощь оказали М. Д. Павлова и М. С. Стернзат, опубликованные рисунки которых использованы в данной работе. Автор искренне благодарит их за помощь в издании книги.

Глубокую признательность автор выражает рецензенту проф. В. А. Сенникову.

Автор с благодарностью примет замечания и предложения, которые позволят улучшить содержание книги.

## ВВЕДЕНИЕ

В период перехода сельскохозяйственного производства на рыночные отношения и формирования различных форм собственности и хозяйствования перед производителями открываются большие возможности в творческом подходе к технологии выращивания, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

Как известно, урожайность сельскохозяйственных культур является сложным интегральным показателем, включающим в себя целый комплекс разнообразных факторов. Условно их можно объединить в три основные группы: природные, экономические и научно-организационные.

Природные условия определяются почвенно-климатическими ресурсами. Поэтому одним из важнейших моментов деятельности и становления будущего предпринимателя сельскохозяйственного производства является глубокое изучение погодно-климатических условий. Систематический учет и объективный анализ метеорологической информации о погоде является важным фактором творческой деятельности специалистов, способствует поиску ими способов уменьшения воздействия метеорологических аномалий на урожай.

Практическое обучение по курсу сельскохозяйственной метеорологии студентов сельскохозяйственных вузов делится на два этапа.

Первый этап — *лабораторно-практические занятия*, на которых в основном изучаются стандартные метеорологические приборы, применяемые для наблюдений за состоянием погоды на метеорологических станциях и агрометеорологических постах.

В приведенных лабораторных работах изложен ход выполнения каждого задания и приведены основные правила наблюдений и обработки результатов, проводимых на стандартных метеорологических приборах. После описания лабораторной работы даны вопросы, позволяющие подготовиться студентам к отчету по данному заданию.

Второй этап — *учебно-полевая практика по агрометеорологии* — имеет целью закрепить у студентов знания, полученные на лабораторно-практических занятиях, и подготовить их к самостоятельному проведению метеорологических наблюдений на опытных посевах полевой практики. Кроме того, проведение анализа и обобщение результатов полевых наблюдений могут оказать помощь в последующем использовании агрометеорологической информации при возделывании сельскохозяйственных культур и в повышении урожайности.

Практикум позволит будущим специалистам принимать оптимальные агротехнические решения в зависимости от погодных условий. Это важно именно сейчас, когда все звенья нашей хозяйственной деятельности переводятся на самоокупаемость и самофинансирование.

# Глава 1. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

## 1.1. Атмосферное давление. Единицы давления

Атмосферное давление является одной из важнейших метеорологических характеристик состояния нижней части атмосферы. Изменение атмосферного давления во времени и в пространстве связано с развитием атмосферных процессов (приближением и прохождением фронтов циклонов, антициклонов и других барических систем), которые определяют погодные условия в разных местах земного шара. Давление воздуха изменяется в зависимости от смены воздушных масс, температуры и других метеорологических факторов. Давление, отражая различные процессы в атмосфере, позволяет ориентировочно судить о физических свойствах воздуха атмосферы, что используется для прогноза погоды на ближайшее время. Постепенное значительное падение давления в течение нескольких часов, особенно с усилением облачности, обычно предвещает ухудшение погоды и выпадение осадков. Быстрое повышение давления предшествует прояснению неба после пасмурной дождливой погоды. Ровный ход давления — признак сохранения текущей погоды без существенных изменений.

Атмосферное давление обычно измеряется высотой ртутного столба в барометре. В единицах СИ атмосферное давление выражается в  $\text{Н/м}^2$  (Па). Практически его удобнее выражать в гектопаскалях (гПа) с точностью до десятых долей. В метеорологической практике давление атмосферы выражают в миллибарах (мбар). Эта единица является тысячной долей бара ( $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ дин/см}^2$ ). Довольно широко используется также миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).

Соотношения между различными единицами давления:

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 1333 \text{ дин/см}^2 = 1,33 \text{ мбар} = 133 \text{ Па} = 1,33 \text{ гПа};$$

$$1 \text{ мбар} = 10^3 \text{ дин/см}^2 = 10^2 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ гПа}.$$

Для перевода миллиметров ртутного столба в гектопаскали (или обратно) используются специальные таблицы (см. приложение 1в).

## 1.2. Приборы для измерения атмосферного давления

Для измерения атмосферного давления применяют *ртутные и деформационные барометры* разных типов, а для непрерывной регистрации давления используется барограф.

В ртутных барометрах измерение давления основано на изменении высоты ртутного столба, уравнивающего атмосферное

Рис. 1.1. Барометр чашечный стационарный СР.

1 — винт, 2 — оправа, 3 — шкала, 4 — кольцо, 5 — нониус, 6 — трубка с ртутью, 7 — кремальера, 8 — термометр, 9 — чашка.

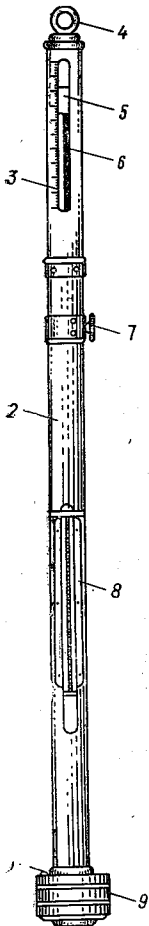
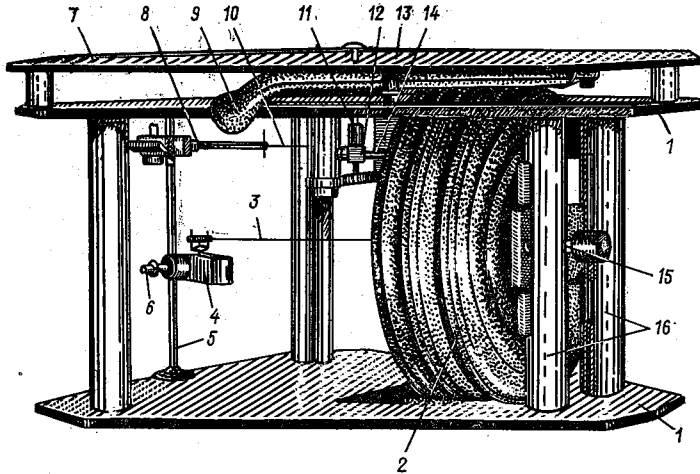


Рис. 1.2. Механизм барометра-анероида БАММ-1.

1 — плата, 2 — бароблок, 3 — тяга, 4, 8 — плечи рычага, 5 — ось, 6, 15 — регулировочные винты, 7 — стрелка, 9 — термометр, 10 — шарнирная цепочка, 11 — ось стрелки, 12 — ролик, 13 — шкальная плата, 14 — спиральная пружина, 16 — стойки.



давление, а в деформационных — на зависимости упругой деформации твердых тел от оказываемого на них давления.

Стационарный чашечный барометр СР (рис. 1.1) состоит из двух основных частей: стеклянной трубки 6 длиной около 80 см, запаянной с верхнего конца, и чашки 9, заполненной ртутью. Стеклянная трубка с ртутью заключена в металлическую оправу 2. В нижней части трубки укреплен термометр 8 для измерения температуры прибора. В верхней части оправы имеется сквозная прорезь, позволяющая видеть мениск ртутного столба в стеклянной трубке. С левой стороны прорези нанесена шкала 3 с пределами измерений давления воздуха. Нуль шкалы совпадает с уровнем ртути в чашке. Вдоль стеклянной трубки с помощью кремальеры 7 перемещается кольцо с укрепленным на нем нониусом 5, который служит для наводки на мениск ртутного столба и для отсчета десятых долей. В верхней части оправы укреплено кольцо 4 для подвешивания барометра на крюк в специальном шкафу.

**Барометр-анероид БАММ-1** (рис. 1.2) относится к деформационным приборам. Принцип действия этих барометров основан на зависимости упругой деформации барокоробок от оказываемого на них атмосферного давления и преобразования линейных перемещений мембран коробок посредством передаточного механизма в угловые перемещения стрелки 7 относительно шкалы. Внешнее (атмосферное) давление на мембраны коробок, направ-

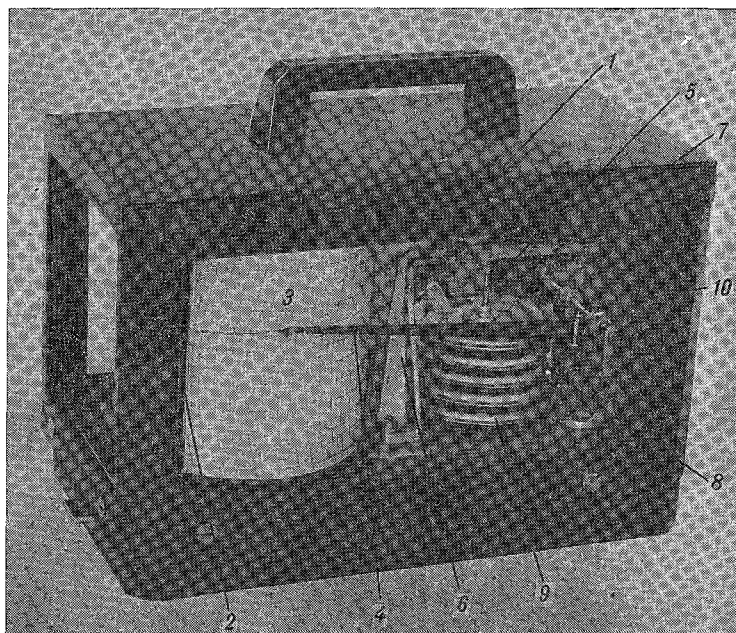


Рис. 1.3. Барограф М-22А.

1 — корпус, 2 — полосовая пружина, 3 — барабан, 4 — стрелка с пером, 5 — рычаг, 6, 7 — кронштейны, 8 — арретир, 9 — блок анероидных коробок, 10 — ось.

ленное на их сжатие, уравновешивается силой упругой деформации мембран. При изменении давления равновесие нарушается, мембраны деформируются до положения, при котором равновесие восстанавливается; происшедшее при этом перемещение центров коробок передается стрелке прибора, которая фиксирует атмосферное давление в данный момент.

Для отсчета давления на верхней плате крепится шкала с делениями в паскалях. Цена одного деления круговой шкалы 100 Па или 1 гПа. На некоторых анероидах шкала градуирована в миллиметрах ртутного столба с ценой деления 0,5 мм.

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



Механизм анероида помещается в пластмассовый корпус, закрывается стеклом, которое закрепляется навинченным на корпус кольцом.

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

**Барограф М-22А** (рис. 1.3) применяется для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления. Приемная часть барографа состоит из нескольких анероидных коробок 9, свинченных между собой (бароблок). Бароблок нижним концом укреплен на биметаллической пластинке, расположенной над платой, а верхним концом соединен штифтом 5 с передающей частью. С повышением атмосферного давления бароблок укорачивается, с понижением — удлиняется.

Передающая часть барографа представлена системой рычагов, имеющих общую ось, на которой расположена стрелка 4. С помощью винта можно перемещать подвижный кронштейн 7 и тем самым изменять положение всей передающей системы. Винт служит для установки пера стрелки на соответствующее деление давления на ленте барографа. Во время работы прибора кнопкой делают засечки на ленте. Это нужно для сравнения его показаний с показаниями барометра.

Барографы в зависимости от подкладной шестерни и приданного им часового механизма могут быть суточными и недельными.

### 1.3. Поправки и приведение атмосферного давления к уровню моря

На показания барометра оказывают влияние температура воздуха, широта местности, высота расположения барометра над уровнем моря и точность изготовления прибора.

Показания барометра приводят к показаниям при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , к широте  $45^{\circ}$  и к уровню моря. Если метеорологическая станция расположена на высоте меньше 400 м, то в показания барометра не вводят поправку на высоту.

*Температурная поправка  $\Delta P_T$  определяется по формуле*

$$\Delta P_T = -0,000163ht, \quad (1.1)$$

где  $t$  — температура барометра,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $h$  — высота ртути в барометре, мм рт. ст. или в мбар (гПа).

*Поправка на ускорение свободного падения  $\Delta P_g$  зависит от широты местности:*

$$\Delta P_g = -0,00265h \cos 2\varphi, \quad (1.2)$$

где  $\varphi$  — широта места расположения прибора,  $h$  — высота ртути в барометре.

*Инструментальная поправка* зависит от несовершенства прибора и определяется сравнением показаний данного барометра с показаниями выверенного барометра. Эта поправка указывается в поверочном свидетельстве прибора.

Инструментальная поправка и поправка на распределение ускорения свободного падения для данной станции и данного барометра объединяются в одну *постоянную поправку*.

Для приведения исправленного давления воздуха к уровню моря необходимо вычислить барическую ступень. *Барической ступенью* называется высота, на которую необходимо подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на одну единицу. Барическая ступень  $H$  вычисляется по формуле

$$H = \frac{8000}{P} (1 + \alpha t), \quad (1.3)$$

где  $P$  — давление, мм рт. ст., гПа;  $t$  — температура в той точке, для которой вычисляется барическая ступень; 8000 м — высота однородной атмосферы, где плотность воздуха считается постоянной;  $\alpha$  — коэффициент объемного расширения воздуха,  $\alpha = 0,00366 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Для приведения давления к уровню моря ( $P_m$ ) надо к исправленному показанию давления  $P_n$  прибавить отношение высоты места над уровнем моря  $H_1$  к барической ступени  $H$ :

$$P_m = P_n + H_1/H. \quad (1.4)$$

## Работа 1. Измерение атмосферного давления

*Приборы и исходные данные:* ртутный чашечный барометр, барометр-анероид, барограф с лентами, инструментальная поправка к ртутному барометру, широта и высота местности.

Давление воздуха в сельском хозяйстве измеряют главным образом для следующих целей: при барометрических нивелировках местности, при составлении планов землепользования, а также при краткосрочных предсказаниях погоды по местным признакам.

В соответствии с этими задачами используются разные приборы по измерению атмосферного давления.

Для оценки атмосферного давления данной местности используется чашечный ртутный барометр, который устанавливается в служебном помещении метеорологической или агрометеорологической станции.

Чашечный барометр (см. рис. 1.1) надо размещать вдали от нагревательных приборов (батареи, печи и т. п.) и от мест с резкой сменой температуры (входная дверь, окно), на капитальной стене. Барометр должен быть хорошо освещен, однако на него не должны падать солнечные лучи.

Прибор устанавливается в стеклянном шкафчике, прочно укрепленном на стене. Шкафчик защищает прибор от резких ко-

лебаний температуры и от загрязнения. Барометр подвешивается кольцом на болт, ввинченный в заднюю стенку шкафчика. Чашка барометра должна быть на высоте 70—75 см над полом. Чтобы мениск ртути был ясно виден, на задней стенке шкафчика против прореза трубки наклеивается лист белой бумаги.

Когда прибор установлен, отвинчивают на один-два полных оборота винт 1 (см. рис. 1.1) и впускают атмосферный воздух в чашку 9. При таком положении барометр готов к работе.

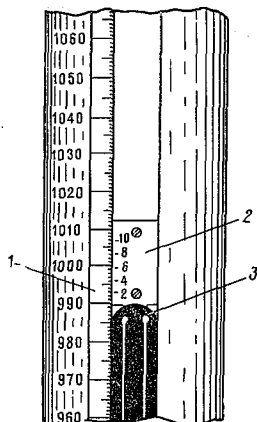
При производстве наблюдений в ночные часы барометр следует осветить карманным электрическим фонариком или подвести к барометру переносную лампу небольшой мощности.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип работы ртутного чашечного барометра. Обратит внимание на единицы измерения прибора и наличие поправок к данному барометру.

Рис. 1.4. Расположение нониуса при измерении давления по ртутному барометру.

1 — основная шкала, 2 — нониус, 3 — мениск ртути.



2. Сделать отсчет температуры по термометру при барометре с точностью до  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

3. Слегка постучать пальцем по барометрической трубке и с помощью кремальерного винта 7 опустить нониус 5 до соприкосновения с вершиной мениска ртути (см. рис. 1.1 и 1.4).

По основной шкале прибора отсчитать показание давления с точностью до целых единиц, которые укладываются до нулевого деления нониуса. Номер деления нониуса, совпадающего с делением основной шкалы, показывает число десятых долей единиц измерения (мм рт. ст. или гПа).

4. В показания барометра ввести постоянную и температурную поправки.

Постоянная поправка состоит из суммы инструментальной поправки и поправки на силу тяжести, зависящей от широты и высоты места наблюдений. Если метеостанция расположена на вы-

соте ниже 400 м над уровнем моря, то в показание барометра поправка на высоту не вводится.

Температурная поправка вводится в показания барометра потому, что с изменением температуры ртути и шкалы прибора изменяются и показания столбика ртути. При положительных температурах поправка имеет знак минус.

Поправки для приведения показаний давления к широте  $45^\circ$  и к  $0^\circ\text{C}$  определяются по таблицам (см. приложение 1а и 1б).

5. Вычислить барическую ступень. В формуле (1.3) давление исправленное.

6. Привести давление к уровню моря (формула (1.4)).

7. Записать результаты отсчетов и вычислений в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерения атмосферного давления чашечным барометром

Станция \_\_\_\_\_ Высота над уровнем моря \_\_\_\_\_

Широта \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Отсчеты по прибору		Поправки		Давление, $P$ и гПа	Барическая ступень, м/гПа	Давление на уровне моря, гПа
$t$ °C	$P$ гПа	постоян- ная, гПа	темпера- турная, гПа			

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

### Контрольные вопросы

1. В каких единицах измеряется атмосферное давление? Каковы соотношения между единицами давления?
2. По какому принципу устроен ртутный чашечный барометр?
3. Какие поправки вводятся в отсчет ртутного барометра?
4. Что называется барической ступенью и при каких расчетах она используется?
5. Можно ли по показаниям барометра предсказать погоду на ближайшие сутки?

### Работа 2. Измерение атмосферного давления анероидом. Барометрическое нивелирование

*Приборы и исходные данные:* анероид с поверочным свидетельством, термометр для измерения температуры воздуха.

Давление воздуха с высотой уменьшается, так как на каждую более высоко расположенную поверхность давит меньшая масса

атмосферы. В нижнем слое атмосферы уменьшение давления  $\Delta P$  при увеличении высоты на  $\Delta h$  в линейном приближении выражается основным уравнением статики

$$\Delta P = -\rho g \Delta h, \quad (1.5)$$

где  $\rho$  — плотность жидкости (обычно ртути),  $g$  — ускорение свободного падения.

При барометрическом нивелировании для расчетов превышения одного пункта над другим пользуются формулой Лапласа:

$$H = 18\,400 \left( 1 + \alpha \frac{t_0 + t}{2} \right) \lg \frac{P_0}{P}, \quad (1.6)$$

где  $P_0$  и  $P$  — давление воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях;  $H$  — разность высот этих двух уровней, или превышение одного пункта над другим, м;  $t_0$  и  $t$  — измеренная температура воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, °С;  $\alpha$  — коэффициент объемного расширения воздуха,  $\alpha = 0,00366$  °С<sup>-1</sup>.

Для небольшой разности высот между двумя уровнями (до 1000 м) используется приближенная формула Бабинэ

$$H = \frac{8000 \cdot 2 (P_0 - P) \left( 1 + \alpha \frac{t_0 + t}{2} \right)}{P_0 + P}. \quad (1.7)$$

По барометрической формуле (1.7) можно определить искомые величины, связанные с давлением, высотой и температурой воздуха.

В практике сельского хозяйства формулу Бабинэ используют для определения превышения одного пункта над другим. Такой метод определения превышения необходим в местах, малодоступных для проведения геодезического нивелирования.

При нивелировании в точках определяют атмосферное давление и температуру барометром-анероидом БАММ-1. Принцип его действия основан на деформации мембранных анероидных коробок под действием давления и преобразовании линейных перемещений мембран посредством передаточного механизма в угловые перемещения стрелки относительно шкалы.

Приемная часть анероида (см. рис. 1.2) состоит из трех последовательно соединенных коробок 2. Одна из крепежных ножек его неподвижно прикреплена к стойкам 16, а вторая шарнирно соединена с помощью жесткой тяги 3 с рычагом промежуточной оси 5. Вторым ее рычагом является движок 8, который соединен при помощи передач с осью 11, на конец которой насажена стрелка 7. Для отсчета давления к верхней плате прикреплена пластина 13. Пластина имеет круговую шкалу с делениями. Цена одного деления 1 гПа.

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

Механизм анероида помещается в пластмассовый корпус, закрывается стеклом, которое закрепляется навинченным на корпус кольцом. Анероид хранится в футляре.

Барометр-анероид старой конструкции не имеет термометра. Шкала этого прибора градуирована в миллиметрах ртутного столба.

В показания анероида вводят три поправки: *шкаловую, температурную и добавочную*.

Поправка на шкалу вызвана тем, что в анероидах используют стандартные шкалы. Однако в каждом анероиде могут быть свои инструментальные (шкаловые) неточности, в результате чего показания анероида не совпадают с истинным давлением. Путем сравнения показаний анероида с точным ртутным барометром находят шкаловые поправки. В различных участках шкалы поправка может быть разной. В поверочном свидетельстве шкаловые поправки приводятся для всей шкалы через каждые 10 гПа.

Температурная поправка учитывает влияние температуры на прибор. При одном и том же атмосферном давлении, но разной температуре прибора показания анероида могут быть разными, так как с изменением температуры упругость мембранных коробок не остается постоянной. Для исключения влияния температуры показания анероида приводятся к  $0^{\circ}\text{C}$ . Для этой цели определен температурный коэффициент  $\beta$ , представляющий собой изменение показания анероида при изменении температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ . Он указан в поверочном свидетельстве. Для получения температурной поправки коэффициент  $\beta$  следует умножить на температуру прибора.

Добавочная поправка учитывает деформацию коробок прибора. Эта поправка меняется во времени. Поэтому в поверочном свидетельстве указывают дату ее определения. Для определения добавочной поправки необходимо провести одновременные отсчеты по чашечному барометру и анероиду (3—5 отсчетов). Разница между показаниями ртутного барометра с учетом всех поправок и анероидом с двумя поправками (температурной и шкаловой) и будет добавочной поправкой к анероиду.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Открыть крышку футляра и установить анероид горизонтально на столе. Изучить устройство и принцип действия анероида. Обратит внимание на цену деления шкалы, на единицы измерения и поверочное свидетельство к прибору.

2. Сделать отсчет температуры прибора (точность до  $0,5^{\circ}\text{C}$ ) и давления по шкале (точность до 0,1 гПа или до 0,1 мм рт. ст.), предварительно слегка постучав пальцем по стеклу прибора. Отсчет величин произвести не менее двух раз на нижнем этаже здания ( $p_0, t_0$ ) и на верхнем ( $p, t$ ).

Результаты измерений внести в табл. 1.2.

3. Найти средние значения давлений и температур для каждого этажа.

**Измерение атмосферного давления и температуры  
анероидом на разных уровнях**

Уровни измерений (этажи)	Давление, гПа			Температура, °С	Суммарная поправка, гПа	Исправленное давление, гПа
	1-й отсчет	2-й отсчет	среднее значение			
Нижний						
Верхний						

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

4. Из поверочного свидетельства определить шкаловую  $\Delta p_{ш}$ , температурную  $\Delta p_{т}$  и добавочную  $\Delta p_{д}$  поправки.

Температурная поправка определяется по формуле  $\Delta p_{т} = \beta t$ , где  $t$  — температура анероида.

5. Вычислить суммарную поправку  $\Delta p_{с}$  по формуле

$$\Delta p_{с} = \Delta p_{ш} + \Delta p_{т} + \Delta p_{д}.$$

6. Вычислить превышение одного этажа над другим (м). Для этой цели используется формула Бабинэ (1.7).

*Контрольные вопросы*

1. В каких единицах измеряется атмосферное давление?
2. Почему изменяется давление с изменением высоты?
3. Как устроен анероид и каков принцип его действия?
4. Какие поправки вводятся в показания давления по анероиду?
5. По какой формуле вычисляется превышение между двумя уровнями?

## Глава 2. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ В АТМОСФЕРЕ И НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

### 2.1. Солнечная радиация.

#### Единицы измерения солнечной радиации

Энергия, излучаемая Солнцем, называется *солнечной радиацией*. В атмосфере солнечная радиация на пути к поверхности Земли частично поглощается, а частично рассеивается и отражается от облаков и земной поверхности. Поэтому в атмосфере наблюдаются три вида радиации: прямая, рассеянная и отраженная. Энергетическую освещенность, создаваемую излучением, поступающим на Землю непосредственно от солнечного диска в виде пучка параллельных солнечных лучей, называют *прямой солнечной радиацией*.

Радиационная энергия есть энергия, перемещающаяся в форме электромагнитных волн различной длины. Распределение лучистой энергии по длинам волн называют *спектром*. Солнечный спектр делится на три части: ультрафиолетовую ( $\lambda < 0,40$  мкм), видимую ( $0,40 \text{ мкм} \leq \lambda < 0,76$  мкм) и инфракрасную ( $\lambda \geq 0,76$  мкм). Основная часть энергии в спектре солнечного излучения заключена в пределах длин волн от 0,20 до 24,0 мкм.

Радиационная энергия солнечного потока в Международной системе единиц (СИ) выражается в ваттах на квадратный метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). Сумма солнечной радиации за какой-либо промежуток времени измеряется в  $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ,  $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  и т. д.

Соотношения между единицами:

$$1,0 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}) = 698 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2;$$

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

Под действием солнечной радиации на поверхности Земли создается *освещенность*. Освещенность образуется суммарным действием прямой, рассеянной и отраженной радиации и измеряется в люксах (лк).

Освещенность изменяется в течение дня и зависит от облачности и запыленности атмосферы. Продолжительность светлого времени суток зависит от географической широты и времени года. От длины светового дня зависит *продолжительность солнечного сияния*, т. е. время, в течение которого земная поверхность освещается прямой солнечной радиацией. Солнечное сияние измеряется в часах за сутки или в процентах от продолжительности световой части суток.



## 2.2. Приборы и методы измерения потоков солнечной радиации

На метеорологических станциях и в полевых условиях для измерения интенсивности рассеянной и суммарной радиации применяют термоэлектрические приборы *пиранометры*. Для измере-

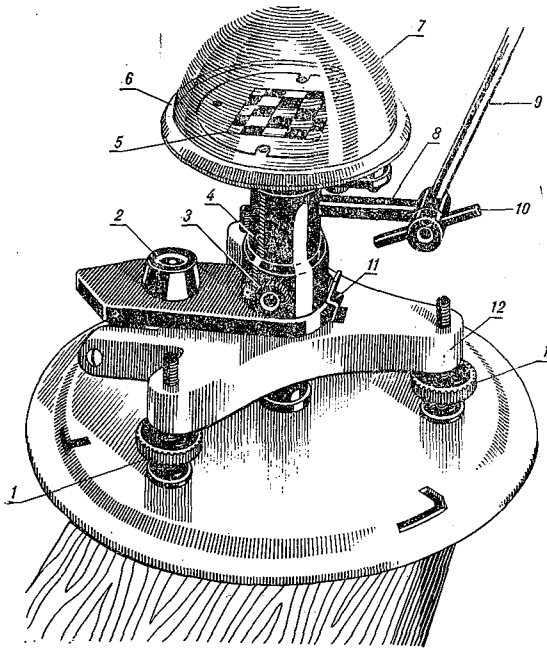


Рис. 2.1. Термоэлектрический пиранометр М-80М.

1 — установочные винты, 2 — уровень, 3 и 10 — винты, 4 — стойка, 5 — термобатарея, 6 — корпус, 7 — стеклянный колпак, 8 — стержень, 9 — трубка экрана, 11 — пружина, 12 — тренога.

ния интенсивности прямой солнечной радиации используют *актинометры*, отражательная способность различных поверхностей измеряется *альбедометрами*. Освещенность пространства или различных насаждений измеряется *люксметром* Ю-16. Продолжительность солнечного сияния определяется *универсальным гелиографом*.

**Устройство термоэлектрического пиранометра М-80М** (рис. 2.1). Приемником радиации является термобатарея, состоящая из последовательно спаянных манганиновых и константановых полос. Поверхность термобатареи покрыта черным цветом (сажей) и белым цветом (магnezией) так, чтобы все четные спаи были окрашены в один цвет, а нечетные — в другой. Для подсоединения пиранометра к гальванометру выводы термобатареи подведены

к клеммам, расположенным на нижней стороне корпуса прибора. Приемная поверхность термобатареи защищена от возможных повреждений стеклянным полусферическим колпаком 7. Корпус с термобатареей и стеклянным колпаком составляет головку пиранометра, которая привинчена к стойке 4.

Для установки головки в горизонтальное положение прибор имеет два установочных винта 1 и уровень 2. Для затенения головки от прямых солнечных лучей служит теневой экран, закрепленный на трубке 9. При затенении приемника пиранометра измеряется рассеянная, а без затенения — суммарная радиация. Для защиты стеклянного колпака от повреждений и для определения нулевого показания стрелки гальванометра служит металлический колпак.

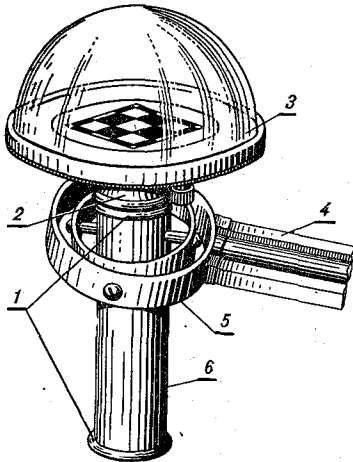


Рис. 2.2. Альбедометр походный М-69.

1 — резиновые прокладки, 2 — втулка, 3 — головка пиранометра, 4 — рукоятка, 5 — карданный подвес, 6 — трубка.

Гальванометр ГСА-1 имеет три клеммы: «+», «Р» и «С». Для измерения радиации слабой интенсивности пиранометр подключают к клеммам «+» и «Р». Для измерения радиации большой интенсивности — к клеммам «+» и «С». Гальванометр при проведении измерений силы термотока устанавливают с северной стороны от пиранометра. В нижней части корпуса гальванометра находится арретир, который, замыкая цепь гальванометра, переводит стрелку в устойчивое состояние, что необходимо в походном положении гальванометра.

**Устройство альбедометра походного М-69** (рис. 2.2). Для измерения в походных условиях суммарной, рассеянной и отраженной солнечной радиации применяется походный альбедометр М-69.

Приемником альбедометра служит головка пиранометра 3, привинченная на втулке к трубке 6 с карданным подвесом 5 и рукояткой 4. Для измерения солнечной радиации в карданный подвес ввинчивается деревянная рукоятка 4. Поворотом рукоятки на 180° приемник может быть обращен вверх для измерения суммарной радиации (в облачную погоду для измерения рассеянной радиации) и вниз для измерения отраженной радиации. Чтобы трубка 6 была в отвесном положении, внутри нее на стержне скользит груз, который при поворотах прибора всегда передвигается вниз. В разобранном виде головка, трубка и рукоятка крепятся на основании металлического футляра.

Перед наблюдением с основания футляра снимают головку, трубку и рукоятку и их свинчивают: головку привинчивают к трубке, а рукоятку насаживают на деревянный шест длиной около 2 м, а потом привинчивают к карданному подвесу.

К альбедометру необходим гальванометр с тремя клеммами (+, Р и С). Перед проведением измерений солнечной энергии надо освободить арретир гальванометра и с помощью мягких проводов присоединить к клеммам альбедометра.

**Принцип действия пиранометра и альбедометра. Переводной множитель.** Действие приборов основано на том, что если термобатареи подвергнуть воздействию солнечной радиации, то спаи будут нагреваться неодинаково. Зачерненная поверхность поглощает большее количество коротковолновой радиации, чем белая. Вследствие разности температур термоспаев возникает разность потенциалов, за счет чего при замыкании цепи гальванометр покажет силу тока. Сила этого тока в конечном счете зависит от интенсивности солнечной радиации.

Для перевода тока, показанного гальванометром, в энергию солнечной радиации необходим переводной множитель  $K$ . Этот множитель определяется путем сравнения показаний пиранометра с контрольным прибором (актинометром).

Измерение *радиационного баланса* деятельной поверхности осуществляется *балансометром* М-10М (рис. 2.3). Он представляет собой диск 1 с двумя квадратными приемниками 2 на противоположных сторонах и рукояткой 11. При измерениях один приемник обращен к исследуемой поверхности (вниз) и на него поступает поток отраженной солнечной радиации и земное излучение. Другой приемник, обращенный вверх, получает суммарную солнечную радиацию. Для измерения интенсивности радиационного баланса к балансометру присоединяется гальванометр.

Для определения продолжительности солнечного сияния применяется *универсальный гелиограф* (рис. 2.4). Он представляет собой стеклянный шар диаметром 94—96 мм, собирающий падающие на него солнечные лучи в фокус. С задней стороны гелиографа помещается фоточувствительная лента, разграфленная на часы. На ленте прожигается полоска, отмечающая количество часов солнечного сияния. При появлении облачности в записи получается прерывистость. Гелиограф устанавливается на открытом месте, строго горизонтально, по меридиану и широте. Прожог на ленте начинается только при интенсивности радиации больше 200 Вт/м<sup>2</sup>.

Для измерения освещенности используется фотометрический прибор *люксметр* Ю-16 (рис. 2.5). Действие этого прибора основано на фотоэлектрическом эффекте селенового фотоэлемента. Солнечные лучи прямой или рассеянной радиации, попадая на фотоактивный металл, вызывают движение электронов. Наличие возникшего тока фиксируется гальванометром, проградуированным в люксах.

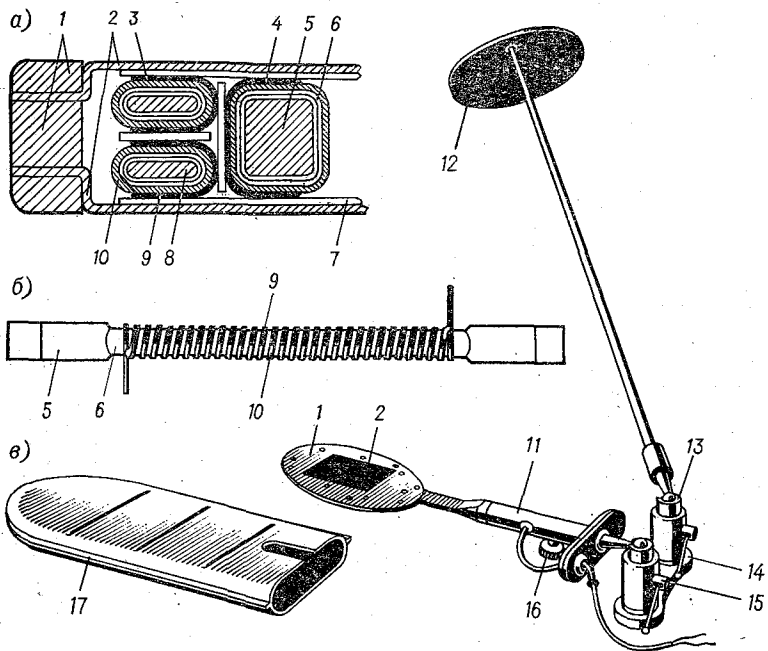


Рис. 2.3. Балансомер М-10М.

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

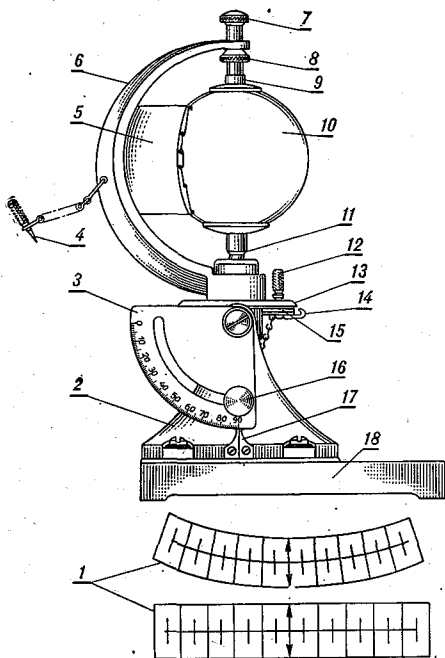


Рис. 2.4. Гелиограф универсальный  
ГУ-1.

1 — ленты, 2 — стойки, 3 — шкала широт,  
4, 12 — штифты, 5 — чашка, 6 — дугообраз-  
ный держатель, 7, 16 — винты, 8 — контр-  
гайка, 9, 11 — шайбы, 10 — стеклянный  
шар, 13 — диск, 14, 17 — указатели, 15 —  
диск, 18 — чугунное основание.

Люксметр состоит из приемника 1, измерителя (гальванометра) 4, соединительных проводов и поглотителей 2. Приемной частью люксметра является селеновый фотоэлемент прямоугольной формы. Измеритель представляет собой гальванометр со шкалой. На шкале расположены три ряда цифр, соответствующих трем пределам измерения освещенности: I — до 25 лк, II — до 100 лк,

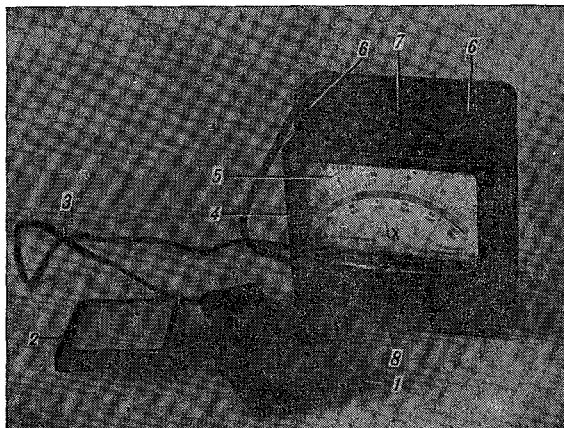


Рис. 2.5. Люксметр Ю-16.

1 — приемник, 2 — поглотитель, 3 — провода, 4 — измеритель, 5 — шкала, 6 — зажимы, 7 — ручка, 8 — корректор.

III — до 500 лк. При использовании поглотителя пределы измерения увеличиваются в 100 раз.

### Работа 3. Измерение рассеянной и суммарной радиации

*Приборы и необходимые данные:* пиранометр с гальванометром, таблица поправок к показаниям гальванометра, переводной множитель прибора  $K$  или график кривой для определения переводного множителя  $K$ .

Растения получают в основном прямую  $S$  и рассеянную  $D$  радиацию, в меньшей степени — отраженную  $R$ .

Поток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность называется *инсоляцией* и обозначается  $S'$ . Для вычисления инсоляции используется формула

$$S' = S \sin h_{\odot}, \quad (2.1)$$

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

Часть солнечной радиации, которая после рассеивания атмосферой и отражения от облаков поступает на горизонтальную поверхность, называется *рассеянной радиацией*  $D$ .

Суммарная радиация  $Q$  представляет собой сумму радиаций  $S'$  и  $D$ :

$$Q = S' + D. \quad (2.2)$$

Солнечная радиация обеспечивает растения энергией, которую они используют в процессе фотосинтеза для создания органического вещества, влияет на процессы роста и развития, на расположение и строение листьев, на химический состав и качество продукции.

Часть лучистой энергии солнца, которую растения усваивают в процессе фотосинтеза, называют *фотосинтетически активной радиацией* (ФАР).

Для расчета  $\Sigma$ ФАР используют уравнение, предложенное Б. И. Гуляевым, Х. Т. Тоомингом и Н. А. Ефимовой:

$$\Sigma Q_{\text{ФАР}} = 0,43 \Sigma S' + 0,57 \Sigma D, \quad (2.3)$$

где  $\Sigma S'$  — сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность за какой-либо промежуток времени;  $\Sigma D$  — сумма рассеянной радиации за тот же промежуток времени.

Для повышения продуктивности фотосинтеза сельскохозяйственных растений агроному необходимо учитывать все виды солнечной радиации и оценивать их роль в фотосинтетической деятельности растений.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить потоки солнечной энергии в атмосфере.
2. Ознакомиться с устройством и принципом действия пиранометра и гальванометра.
3. Подготовить приборы для переноски их из лаборатории на метеоплощадку. Арретир гальванометра закрутить до отказа.
4. Установить приборы на столе метеоплощадки и соединить их электрическими проводами, соблюдая при этом полярность. Клемму «+» пиранометра соединить с клеммой «+» гальванометра.

Для удобства измерения солнечной радиации гальванометр помещается с северной стороны пиранометра. Непосредственно перед измерением проверить установку пиранометра по уровню. Прикрепить теневой экран.

5. Закрыть приемную поверхность пиранометра крышкой, ослабить арретир гальванометра и записать нулевое положение стрелки гальванометра  $H'$ .

6. При открытом затененном пиранометре измерить рассеянную радиацию  $D$ , для чего отсчитать показание гальванометра  $H_p$ .

7. Для измерения суммарной радиации  $Q$  отвести экран в сторону и при освещенном пиранометре сделать отсчет по гальванометру  $H_c$ . Измерения  $H_p$  и  $H_c$  сделать не менее трех раз.

8. Закрыть приемную часть пиранометра крышкой и отсчитать нулевое показание гальванометра  $H''$ . Заарретировать гальванометр винтом. Собрать приборы для переноски в лабораторию.

9. Вычислить среднее значение показаний гальванометра при измерении рассеянной радиации  $\bar{H}_p$ :  $\bar{H}_p = \frac{H_{p1} + H_{p2} + H_{p3}}{3}$  и суммарной радиации  $\bar{H}_c$ :  $\bar{H}_c = \frac{H_{c1} + H_{c2} + H_{c3}}{3}$ .

10. По средним значениям  $\bar{H}_p$  и  $\bar{H}_c$  из табл. 2.1 найти шкаловые поправки  $\Delta H_p$  и  $\Delta H_c$  (делений).

Таблица 2.1

Шкаловые поправки  $\Delta H$  к гальванометру № \_\_\_\_\_

$H \dots$	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta H \dots$											

Примечание. Значения  $\Delta H$  для каждого гальванометра указаны в поверочном свидетельстве.

11. Интенсивность рассеянной и суммарной радиации ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) вычислить по формулам

$$D = K \left( \bar{H}_p + \Delta H_p - \frac{H' + H''}{2} \right), \quad (2.4)$$

$$Q = K \left( \bar{H}_c + \Delta H_c - \frac{H' + H''}{2} \right), \quad (2.5)$$

где  $K$  — переводной множитель,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{дел.})$ .

При измерении слабой радиации гальванометр подключается без дополнительного сопротивления (клеммы «+» и «Р»). Для измерения радиации большой интенсивности гальванометр присоединяется с добавочным сопротивлением (клеммы «+» и «С»).

12. По значениям  $Q$  и  $D$  вычислить солнечную радиацию  $S'$ , падающую на горизонтальную поверхность ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ).

13. Вычислить фотосинтетически активную радиацию  $Q_{\text{ФАР}}$  в данный момент (формула (2.3)).

14. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.2 и представить работу преподавателю для контроля.

#### Контрольные вопросы

1. Дать определение прямой, рассеянной и суммарной радиации.
2. Объяснить принцип работы термоэлектрического пиранометра.
3. Каков порядок измерений рассеянной и суммарной радиаций? Записать формулы расчета этих величин.
4. Объяснить физический смысл переводного множителя  $K$ .
5. Какое значение имеет солнечная радиация в жизнедеятельности сельскохозяйственных растений?



## Измерение рассеянной и суммарной радиации

Дата \_\_\_\_\_ Место наблюдения \_\_\_\_\_  
 Время : начало \_\_\_\_\_, конец \_\_\_\_\_ Высота солнца \_\_\_\_\_  
 Облачность \_\_\_\_\_ Пиранометр № \_\_\_\_\_, гальванометр № \_\_\_\_\_

№ измерения	Нулевой отсчет		K	Рассеянная радиация				Суммарная радиация				S'
	H'	H''		H <sub>p</sub>	$\bar{H}_p$	$\Delta H_p$	D	H <sub>c</sub>	$\bar{H}_c$	$\Delta H_c$	Q	
1												
2												
3												

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

#### Работа 4. Измерение суммарной и отраженной радиации. Вычисление альbedo поверхности

*Приборы и необходимые данные:* альбедометр с гальванометром, таблица поправок к показанию гальванометра, переводной множитель прибора.

Суммарная радиация, дошедшая до земной поверхности, частично отражается от нее, создает отраженную радиацию, направленную от земной поверхности в атмосферу. Остальная часть суммарной солнечной радиации поглощается земной поверхностью.

Отношение отраженной радиации  $R_k$  к суммарной  $Q$  называется *альbedo*  $A_k$ :

$$A_k = \frac{R_k}{Q} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

Альbedo выражается в долях единицы или в процентах. Значение альbedo зависит от свойств поверхности: цвета, шероховатости, влажности, наличия растительности и т. д.

На метеорологических станциях и в полевых условиях для измерения суммарной и отраженной радиации применяют альбедометр (см. рис. 2.2).

В метеорологии в настоящее время наблюдения за альbedo суши, моря и облачного покрова проводятся с искусственных спутников Земли. По значению альbedo судят о состоянии посевов зерновых культур на больших площадях.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить потоки лучистой энергии в атмосфере.
2. Ознакомиться с устройством альбедометра походного М-69 и изучить принцип его действия. Подготовить приборы для переноски из лаборатории на метеоплощадку.

3. Установить альбедометр и гальванометр на столе метеоплощадки и соединить их электрическими проводами, соблюдая при этом полярность. Клемма «+» альбедометра соединяется с клеммой «+» гальванометра.

4. Ослабить арретир гальванометра на один-два оборота и, закрыв приемную часть альбедометра крышкой, записать показания гальванометра  $H'$  (делений).

5. Снять крышку приемной части альбедометра и, держа альбедометр за рукоятку на высоте 0,5—1 м от поверхности земли, направить приемную поверхность вверх. Снять и записать показание гальванометра. Измерения суммарной радиации сделать 3—5 раз.

6. Для измерения отраженной радиации повернуть рукоятку альбедометра так, чтобы приемная поверхность прибора была направлена к земной поверхности. При таком положении записать показание гальванометра. Измерения сделать 3—5 раз для каждой поверхности.

7. Закрывать приемную часть альбедометра крышкой и записать начальное положение стрелки гальванометра  $H''$  (делений). Закрутить арретир гальванометра и привести прибор в походное состояние.

8. Вычислить среднее значение показаний гальванометра при измерении суммарной  $\bar{H}_c$  и отраженной  $\bar{H}_o$  радиации (делений):

$$\bar{H}_c = \frac{H_{c1} + H_{c2} + H_{c3}}{3};$$

$$\bar{H}_o = \frac{H_{o1} + H_{o2} + H_{o3}}{3}.$$

9. По средним значениям  $\bar{H}_c$  и  $\bar{H}_o$  найти шкаловые поправки  $\Delta H_c$  и  $\Delta H_o$  (делений). Для этой цели использовать табл. 2.1 из работы 3.

10. Вычислить суммарную (формула (2.5)) и отраженную радиацию  $R_k$ :

$$R_k = K \left( \bar{H}_o + \Delta H_o - \frac{H' + H''}{2} \right) [\text{Вт/м}^2]. \quad (2.7)$$

Здесь  $K$  — переводной множитель альбедометра в соединении с гальванометром. Он представляет собой цену деления гальванометра ( $\text{Вт/м}^2$ ).

При измерении солнечной радиации слабой интенсивности гальванометр присоединяют в цепь без добавочного сопротивления (клеммы «+» и «Р»). Для измерения радиации большой интенсивности гальванометр присоединяют с добавочным сопротивлением (клеммы «+» и «С»).

11. Вычислить альбедо поверхности (формула (2.6)).

12. Результаты измерений и вычислений записать в табл. 2.3 и представить работу преподавателю для контроля.

## Измерение суммарной и отраженной радиации

Дата \_\_\_\_\_ Место наблюдения \_\_\_\_\_

Время: начало \_\_\_\_\_, конец \_\_\_\_\_ Облачность \_\_\_\_\_

Альбедометр № \_\_\_\_\_, гальванометр № \_\_\_\_\_

Поверхность	№ измерения	Нулевой отсчет		K	Суммарная радиация				Отраженная радиация				Альбедо	
		H'	H''		H <sub>c</sub>	$\bar{H}_c$	$\Delta H_c$	Q	H <sub>o</sub>	$\bar{H}_o$	$\Delta H_o$	R <sub>K</sub>		
	1													
	2													
	3													

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Контрольные вопросы

1. Дать определение прямой, рассеянной, суммарной и отраженной радиаций.
2. Что называется альбедо поверхности и от чего зависит его значение?
3. Объяснить устройство и принцип работы альбедометра.
4. Каков физический смысл переводного множителя K?
5. Какими агротехническими приемами можно изменить альбедо и для чего это делается?

## Глава 3. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ И ВОЗДУХА

### 3.1. Температура. Единицы измерения температуры

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

Каждая температурная шкала содержит две или несколько *реперных точек*, обозначающих температуру какого-либо воспроизводимого процесса. Общепринятыми реперными точками являются точки таяния льда и кипения воды. В практической метеорологии пользуются стоградусной шкалой Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) и шкалой Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$  — США, Англия). Переход от одной шкалы к другой делается по формулам:  $t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$ ;  $t^{\circ}\text{F} = 1,8t^{\circ}\text{C} + 32$ .

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

### 3.2. Измерение температуры почвы и воздуха

Для измерения температуры почвы и воздуха используются жидкостные, термоэлектрические, деформационные термометры и электротермометры сопротивления.

**Жидкостные термометры** основаны на принципе изменения объема жидкости в зависимости от температуры среды. В качестве жидкости чаще всего используют ртуть или спирт.

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

**Срочный термометр ТМ-3** (рис. 3.1) применяется для измерения температуры поверхности почвы в данный момент (срок). Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром. Деления на его шкале нанесены через  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Отсчет температуры делают по мениску ртути в капилляре с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Если столбик ртути заканчивается на высоте выше  $0^{\circ}\text{C}$ , то температура записывается со знаком «плюс» или просто без знака. Если столбик ртути ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , то температура записывается со знаком «минус».

**Максимальный термометр ТМ-1** (рис. 3.2) служит для измерения самой высокой (максимальной) температуры среды за период между сроками наблюдений. Цена деления шкалы  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Рабочее положение термометра горизонтальное (резервуар слегка опущен).

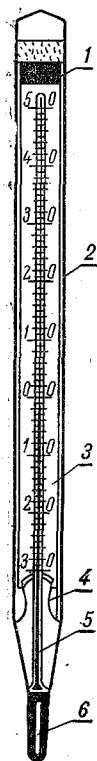


Рис. 3.1. Срочный термометр ТМ-3.  
1 и 4 — крепление шкалы, 2 — стеклянная оболочка, 3 — шкала, 5 — капиллярная трубка, 6 — резервуар.

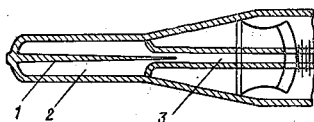
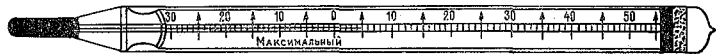


Рис. 3.2. Максимальный термометр ТМ-1.  
1 — штифт, 2 — резервуар, 3 — капилляр.

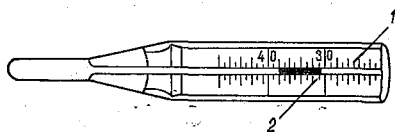
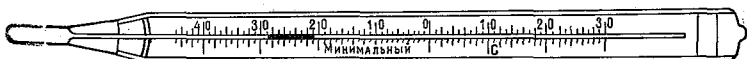


Рис. 3.3. Минимальный термометр ТМ-2.  
1 — мениск спирта, 2 — штифт.

Максимальное показание термометра сохраняется благодаря наличию штифта 1, укрепленного на дне резервуара 2 и входящего острием в начало капилляра 3. При повышении температуры ртуть из резервуара поднимается по капилляру за счет силы расширения ртути. При понижении температуры и горизонтальном положении термометра ртуть из капилляра не возвращается в резервуар, так как силы трения в месте сужения или изгиба капилляра значительно больше сил молекулярного сцепления. В результате этого в месте сужения происходит разрыв ртути и таким образом фиксируется максимальное значение температуры за данный промежуток времени.

При установке максимального термометра для измерения температуры на новый срок, его встряхивают. Показание термометра после встряхивания становится близким к срочной температуре.

**Минимальный термометр ТМ-2** (рис. 3.3) применяется для измерения самой низкой температуры за период между сроками наблюдений. Термометрической жидкостью является спирт. Цена деления  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Рабочее положение горизонтальное. Особенность устройства термометра заключается в том, что внутрь капилляра закладывается маленький из темного стекла штифтик с небольшими утолщениями на концах.

Перед установкой термометра штифтик перемещают к мениску спирта. Для этого следует поддержать термометр наклонно резервуаром вверх и тогда штифтик под влиянием собственного веса упадет вниз до мениска спирта. Правый конец штифтика совпадет с показанием мениска спирта.

При понижении температуры поверхностная пленка мениска, перемещаясь в сторону резервуара, перемещает за собой и штифтик в сторону меньших температур. При повышении температуры спирт, расширяясь, свободно обтекает штифтик. Последний остается на месте, указывая удаленным от резервуара концом минимальную температуру между сроками наблюдений.

При наблюдениях сначала отсчитывается температура в срок наблюдения по мениску спирта, а затем минимальная температура между сроками. После отсчета термометр приводят в рабочее положение (штифт перемещают к мениску спирта).

**Психрометрический термометр ТМ-4** (рис. 3.4) ртутный, с шаровидным резервуаром и металлическим колпачком в верхней части, цена деления  $0,2^{\circ}\text{C}$ . При температуре воздуха ниже  $-35^{\circ}\text{C}$  используют низкоградусный спиртовой термометр ТМ-9 с цилиндрическим резервуаром.

Психрометрические термометры применяются в паре и составляют прибор психрометр, который служит для измерения температуры и влажности воздуха.

Все термометры для измерения температуры воздуха устанавливают в психрометрической будке БП-1 (рис. 3.5). Стенки будки состоят из двойных жалюзи, которые защищают термометры от прямого попадания солнечных лучей, осадков, а также от сильных порывов ветра и др.

Для измерения температуры поверхности почвы термометры устанавливают на поверхности взрыхленной почвы.

**Термограф М-16А** (рис. 3.6) служит для непрерывной записи хода температуры воздуха во времени. Приемником тепла прибора является биметаллическая пластинка 7, изготовленная из металлов с различным термическим коэффициентом линейного расширения. Кривизна пластинки меняется в зависимости от температуры. Изменения кривизны пластинки передаются на стрелку с пером 13, которое чертит линию на бумажной ленте, надетой на барабан 1, вращаемый часовым механизмом. Часовые механизмы существуют с суточным и недельным периодом вращения.

### 3.3. Измерение температуры почвы на разных глубинах

Для измерения температуры почвы на разных глубинах применяют коленчатые термометры, термометр-щуп, вытяжные термометры, максимально-минимальные термометры и электротермометры разной конструкции.

Рис. 3.4. Психрометрический термометр ТМ-4.

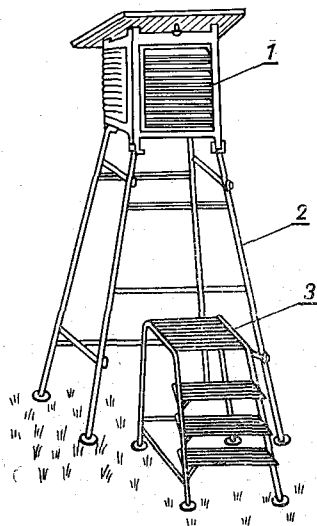
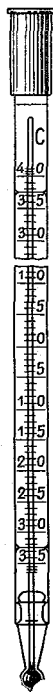


Рис. 3.5. Психрометрическая будка БП-1.

1 — будка, 2 — подставка, 3 — лесенка.

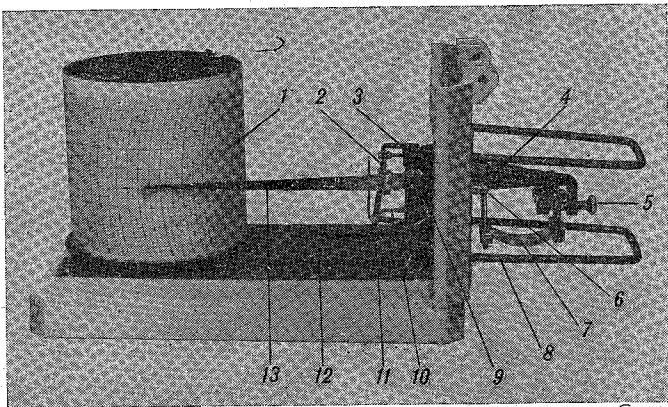


Рис. 3.6. Термограф М-16А.

1 — барабан, 2 — тяга, 3 — рычаг, 4 и 9 — кронштейны, 5 — винт, 6 — кнопка, 7 — биметаллическая пластинка, 8 — защита, 10 — изогнутый рычаг, 11 — арретир, 12 — плата, 13 — стрелка с пером.



**Коленчатые термометры (Савинова) ТМ-5** (рис. 3.7) предназначены для измерения температуры почвы в теплый период на глубинах 5, 10, 15, 20 см. В комплект входят четыре термометра, различающиеся по длине нижней части. Нижняя часть стеклянной защитной оболочки от резервуара до начала шкалы заполнена

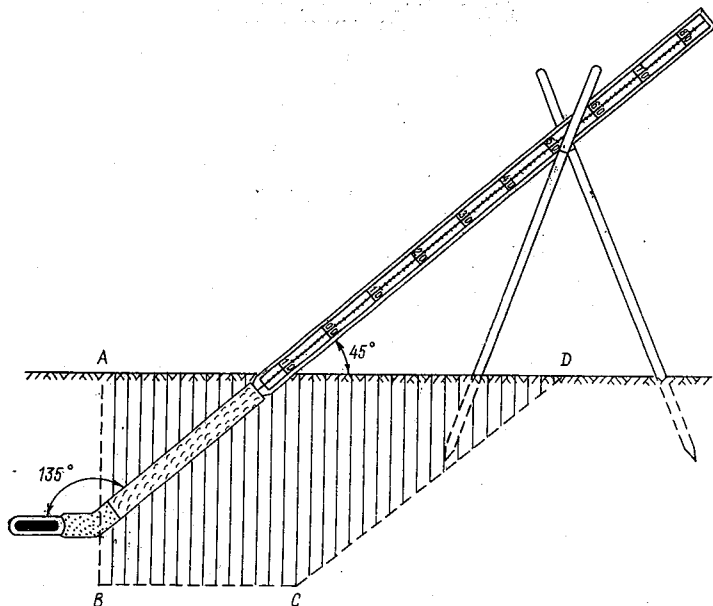


Рис. 3.7. Установка коленчатого термометра ТМ-5.

теплоизоляционным материалом, что уменьшает влияние на показания термометра слоя почвы, лежащего над его резервуаром, и тем самым обеспечивает более точное измерение температуры на той глубине, на которой установлен резервуар.

Коленчатые термометры устанавливаются на одной площадке с термометрами для измерения температуры почвы.

Чтобы установить коленчатые термометры на заданных глубинах, в почве выкапывают углубление ABCD, которое на рисунке заштриховано. Вдоль выемки кладут прямую рейку, отмечают линейкой глубины, на которых должны быть установлены термометры, и делают в отвесной стенке горизонтальные углубления. Каждый термометр вдвигают резервуаром в углубления почвы до самого изгиба и частично засыпают его землей. После установки всех термометров канавку засыпают вровень с поверхностью участка. Для устойчивости термометров их выступающие над почвой части подпирают рогаткой.

**Термометр-щуп АМ-6** (рис. 3.8) служит для измерения температуры почвы в полевых условиях на глубине от 5 до 40 см. Спиртовой термометр 2 с ценой деления  $1,0^{\circ}\text{C}$  и пределами шкалы от

электрическое сопротивление в зависимости от температуры. В комплект термометра входят датчики (до 10 штук), переносной измерительный пульт и соединительный кабель. Датчиком температуры служит бескаркасная обмотка из медной проволоки,

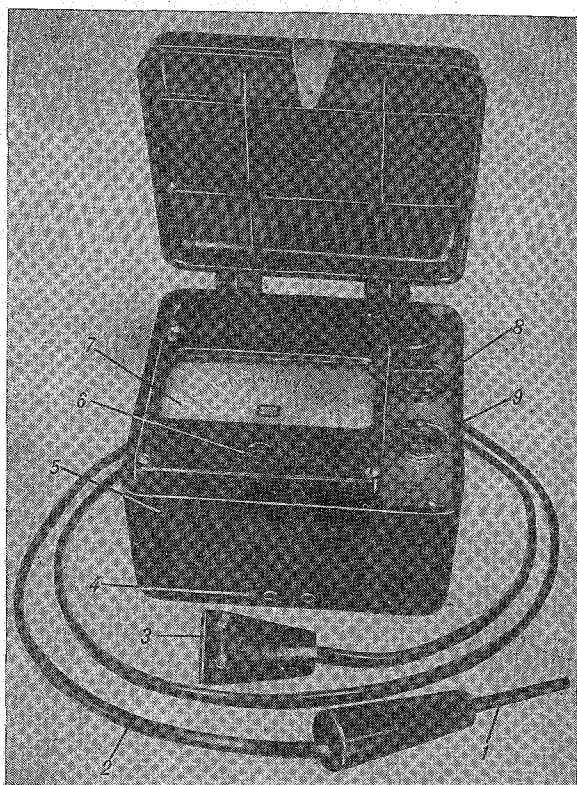


Рис. 3.11. Электротермометр АМ-2М-1.

1 — датчик, 2 — кабель, 3 — вилка, 4 — контактные гнезда, 5 — измерительный пульт, 6 — корректор, 7 — микроамперметр, 8 — ручка реостата, 9 — переключатель.

заключенная в латунную гильзу (иглу). Источник питания прибора (кассета с четырьмя элементами питания) расположен внутри пульта.

В настоящее время применяются усовершенствованные модификации электротермометров.

**Трость агронома ПИТТ-1** предназначена для измерения температуры почвы и замера глубины вспашки непосредственно в полевых условиях.

Принцип измерения температуры почвы прибором основан на свойстве ряда материалов изменять омическое сопротивление в зависимости от температуры.

Трость агронома (рис. 3.12) состоит из пластмассового корпуса 1 с ручкой 2 и металлической трубы 6, в нижней части которой расположен датчик 7 для измерения температуры почвы.

В корпусе установлен измерительный прибор — потенциометр 3, шкала которого проградуирована в °С, а также две кнопки «V» и «°С», которыми осуществляется контроль напряжения питания прибора и замер температуры почвы. Внутри ручки трости распо-

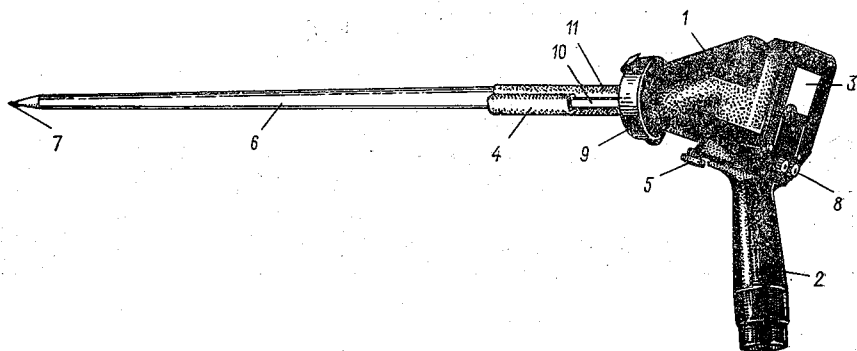


Рис. 3.12. Трость агронома ПИТТ-1.

1 — корпус, 2 — ручка, 3 — потенциометр, 4 — карман, 5 — ручка регулировки питания, 6 — труба (трость), 7 — датчик, 8 — кнопки контроля напряжения  $V$  и измерения температуры (°С), 9 — рулетка, 10 — пинцет, 11 — скальпель.

ложена аккумуляторная батарея, состоящая из четырех элементов типа Д-0,1.

Ручка регулировки питания 5 выведена наружу.

В верхней части трубы трости агронома размещены в кармане 4 пинцет 10 и скальпель 11. Под корпусом прибора находится рулетка 10.

На трубе нанесены через каждые 10 мм риски, позволяющие определить глубину вспашки.

Для измерения температуры почвы следует нажать на кнопку «V» и ручкой 5 установить стрелку шкалы прибора на 30 °С, затем ввести в почву датчик и нажатием кнопки «°С» определить по шкале температуру почвы. Выдержка прибора в почве должна быть не менее 2,5 мин.

Измерение глубины вспашки производится введением в почву трубы до упора в плотный слой, и по рискам определяется глубина вспашки.

### 3.4. Измерение глубины промерзания почвы

Для оценки условий перезимовки растений важное значение имеет промерзание почвы. Глубина промерзания почвы измеряется с помощью мерзлотомера АМ-21 (рис. 3.13). Этот прибор состоит из эбонитовой трубки 1, закрытой с нижнего конца металличе-

ским колпачком. На верхней части трубки, которая выступает из почвы, нанесены деления в сантиметрах для определения высоты снежного покрова. В эбонитовую трубку помещают резиновую трубку 2, заполненную водой. Трубка 2 имеет длину 150 или 300 см. Для определения глубины промерзания трубка имеет сантиметровые деления. Нулевое деление трубки совпадает с поверхностью почвы. Внутри резиновой трубки проходит капроновый шнур с узелками, препятствующий передвижению образовав-

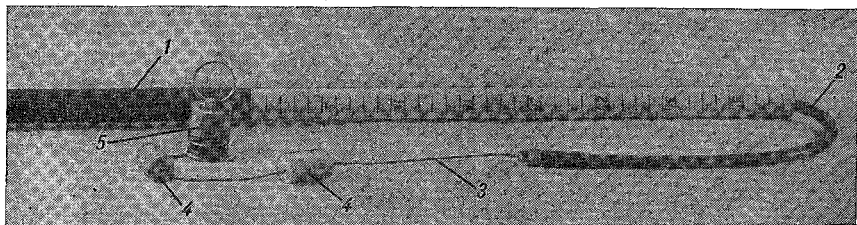


Рис. 3.13. Мерзлотомер АМ-21.

1 — защитная трубка, 2 — резиновая трубка, 3 — шнур, 4 — пробки, 5 — колпачок с кольцом.

шегося в ней льда. Верхний конец трубки присоединяется с помощью шнура 3 к колпачку 5 с кольцом, который плотно закрывает защитную трубку 1. Для термоизоляции на шнур надевают две пробки 4.

Мерзлотомер устанавливается до начала появления заморозков на площадке около вытяжных термометров и на посевах озимых культур.

Отсчеты по мерзлотомеру начинают с момента наступления отрицательных температур и продолжают до полного оттаивания почвы.

Для измерения глубины промерзания почвы резиновую трубку вытягивают и прощупывают ее сверху вниз, определяя границы столбика льда. По делениям на трубке отсчитывают глубину промерзания и толщину мерзлого слоя почвы. После измерения резиновую трубку вновь опускают в защитную трубку.

### Работа 5. Измерение температуры воздуха

*Приборы:* психрометрический, минимальный и максимальный термометры, термограф; поправки к термометрам.

*Место выполнения* — метеоплощадка.

Одним из важных факторов жизнедеятельности растений является температура воздуха. Рост и развитие растений протекает только в определенном диапазоне температур для каждого растения и каждого периода их жизни. Для правильного использования

термических ресурсов в сельском хозяйстве и своевременного проведения многих агротехнических мероприятий необходимо вести наблюдения за температурой воздуха.

Измерение температуры воздуха производится на метеорологических станциях при помощи трех термометров: психрометрического, расположенного вертикально на установке психрометра; максимального и минимального термометров, устанавливаемых на подставке в метеорологической будке.

Психрометрический сухой термометр показывает температуру воздуха в данный период наблюдения, два других термометра фиксируют пределы колебания температуры за период между сроками наблюдений.

Для характеристики температурных условий агрономической службе необходимы данные о средней суточной температуре воздуха. Ее можно вычислить по формуле  $t_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(t_{\text{макс}} + t_{\text{мин}})$ , где  $t_{\text{ср}}$  — средняя суточная температура воздуха,  $t_{\text{макс}}$  — максимальная,  $t_{\text{мин}}$  — минимальная температура.

Вычисленные таким способом средние суточные температуры используют для определения активных и эффективных температур воздуха, а также для определения дат перехода средних суточных температур через 0, 5, 10°C.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Составить краткое описание устройства максимального и минимального термометров. Обратит внимание на принцип действия термометрической жидкости и штифтов при суточном ходе температуры воздуха. Указать цену деления шкал используемых термометров.

2. Изучить правила приведения в рабочее состояние максимального и минимального термометров после отсчетов по ним соответствующих температур.

3. Открыть дверцу метеорологической будки и сделать отсчеты по термометрам (при отсчетах брать термометры в руки запрещается). Сначала сделать отсчет срочной температуры по психрометрическому термометру, потом по максимальному и минимальному термометрам. Результаты отсчетов показать преподавателю и только после этого повторить измерения.

4. Максимальный и минимальный термометры привести в рабочее состояние для проведения отсчетов в следующий период наблюдений.

5. В показания термометров ввести поправки (поправки для каждого термометра приводятся в паспортах).

6. Используя полученные данные измерений по максимальному и минимальному термометрам, вычислить среднюю суточную температуру воздуха.

7. Результаты измерений записать в табл. 3.1 и представить преподавателю для контроля.

## Измерение температуры воздуха (°С)

Станция \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ . Время отсчета \_\_\_\_\_

Термометр	1-е измерение			2-е измерение		
	Отсчет	Поправка	Исправ- ленный отсчет	Отсчет	Поправка	Исправ- ленный отсчет
Психрометриче- ский (срочный)						
Максимальный: до встряхи- вания после встря- хивания						
Минимальный: спирт штифт						
Средняя суточ- ная температура						

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Контрольные вопросы

1. В каких агротехнических мероприятиях учитываются температурные условия воздуха?
2. Какими термометрами можно измерить температуру воздуха?
3. Как устроен максимальный термометр и как он устанавливается?
4. Объяснить устройство минимального термометра. Каков принцип его действия?
5. Как по показаниям максимального и минимального термометров определить среднюю суточную температуру?

### Работа 6. Измерение температуры воздуха с помощью термографа. Обработка ленты суточного хода температуры воздуха

*Приборы и принадлежности:* термографы суточный и недельный, ленты к термографам и термограммы, психрометрический термометр, чернила для самописцев.

*Место выполнения* — лаборатория и метеоплощадка.

Измерение температуры воздуха на метеорологических станциях проводят восемь раз в сутки: в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч по московскому декретному времени. Для этой цели используют

термометры разного назначения. В некоторых случаях, например в теплицах, животноводческих помещениях, хранилищах сельскохозяйственной продукции, возникает необходимость непрерывного измерения температуры воздуха в течение суток или недели. Для непрерывной регистрации хода температуры применяется *термограф М-16А* (см. рис. 3.6).

В зависимости от скорости вращения барабана термографы бывают суточные и недельные. У суточных продолжительность одного оборота барабана 26 ч, у недельных — 176 ч. Для отличия суточных и недельных термографов на крышке часового механизма ставятся обозначения «С» и «Н».

Лента термографа (рис. 3.14) разграфлена прямыми горизонтальными линиями и вертикальными дугами. Горизонтальные линии образуют шкалу температуры с ценой одного деления  $1^{\circ}\text{C}$ . Вертикальные дуги образуют шкалу времени с ценой деления 15 мин для суточного термографа и 2 ч для недельного. Кроме того, на недельных лентах указаны дни недели. На лентах обычно указаны три шкалы в пределах от  $-35$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ , от  $-25$  до  $+55^{\circ}\text{C}$  и от  $-45$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ . При работе термографа пользуются одной из шкал, которая соответствует изменениям температуры в данной местности и в данное время года.

**Установка термографа.** Термограф (см. рис. 3.6) устанавливают на нижней полке защитной будки БС-1, отличающейся от психрометрической своими размерами. Полка укреплена так, чтобы приемник термографа находился на стандартной высоте 2 м от поверхности земли.

Перед установкой термографа часовой механизм с помощью ключа заводят до отказа и на барабан 1 надевают ленту, которая крепится специальной пружиной (лентодержателем). В таком виде барабан надевают на неподвижную ось корпуса.

Перо заполняется специальными чернилами с примесью глицерина. Поэтому они медленно сохнут и не замерзают в холодное зимнее время. Перо на ленте должно показывать время и температуру воздуха в данный момент. Установку пера стрелки 13 на требуемое время производят поворотом барабана вокруг неподвижной оси, а на температуру — вращением установочного винта 5, за счет чего изменяется кривизна биметаллической пластинки 7.

При установке прибора в метеобудку показания термографа должны совпадать с показанием температуры психрометра, находящегося рядом с термографом.

Термограф — прибор относительный, поэтому в ходе работы с ним следует его показания сравнивать с показаниями сухого термометра. Для этого в срочные часы наблюдения на ленте делают засечки легким подъемом пера с помощью нажима кнопки 6, выведенной наружу корпуса прибора. По меткам можно установить, насколько верно шли часы термографа, и найти необходимые для обработки поправки температуры.

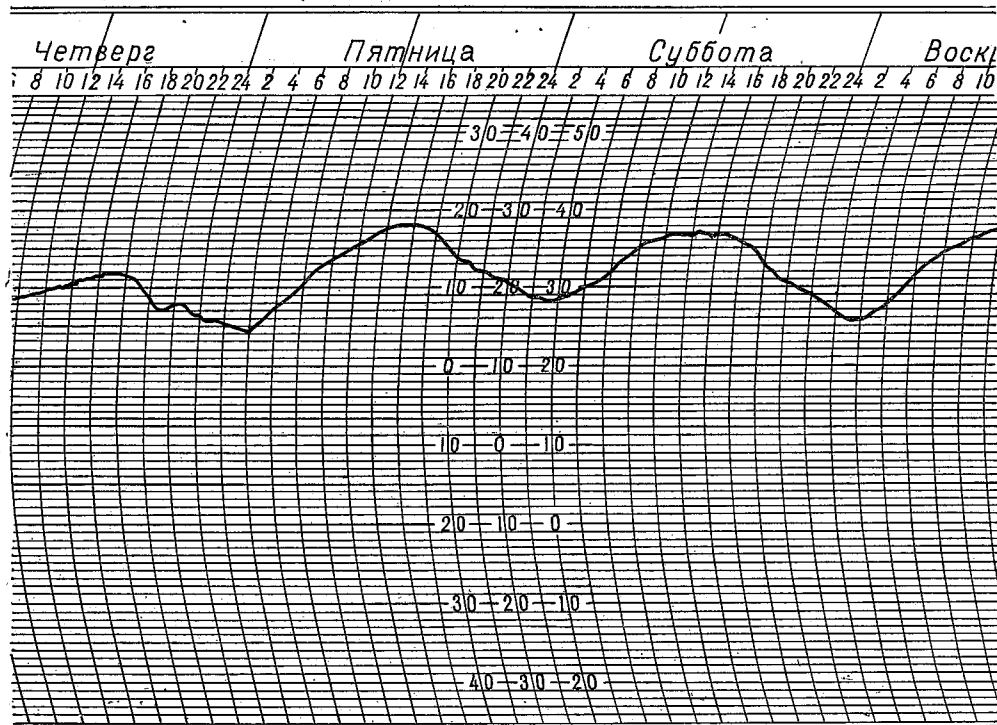


Рис. 3.14. Часть недельной ленты с записью температуры воздуха термографом.



При смене лент на лицевой стороне снятой ленты отмечают фактическое время окончания записи, а на новой ленте — фактическое время начала записи. Кроме того, на обратной стороне ленты записывают название станции, номер прибора, дату наложения и снятия ленты (год, число, месяц). Смену лент производят в срок, ближайший к 13 ч декретного времени данного часового пояса. Лента с записью хода температуры называется *термограммой*.

**Обработка ленты термографа.** Ленту термографа обрабатывают методом интерполяции. Сначала в нижней части ленты записывают ежечасные показания термографа с точностью до 0,1 °С. Потом против меток, сделанных в срочные часы, пропуская одну строку, записывают показания психрометрического термометра (сухого) и вычисляют разность между показаниями термометра и термографа. Эта разность представляет собой поправку в срочные часы. Ее записывают на второй строке. Допуская, что поправка термографа в течение его работы изменялась равномерно, рассчитывают поправку для каждого часа. Для этого интерполируют поправки между двумя соседними метками.

*Пример.* Показания в 12 ч на ленте термографа составляют 17,8 °С, сухого термометра — 17,4 °С. В 18 ч термограф показывал 9,5 °С, а сухой термометр — 9,7 °С.

Поправка в 12 ч равна  $17,4 - 17,8 = -0,4$  °С; в 18 ч поправка составляет  $9,7 - 9,5 = 0,2$  °С. За 6 ч работы поправка изменилась на 0,6 °С [ $0,2 - (-0,4) = 0,6$ ], а за один час — на 0,1 °С. Зная изменение поправки за один час, можно рассчитать поправку для каждого часа. В результате вычисления получим следующие значения поправок (табл. 3.2):

Таблица 3.2

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

Суммируя показания термографа с поправками в соответствующие часы, получим исправленные показания термографа. Таким же образом производится обработка других интервалов ленты.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить устройство, принцип действия термографа и правила работы с ним.

2. Получить у лаборанта чистую ленту термографа и на обратной стороне ее сделать соответствующие записи.

3. Заправить ленту на барабан термографа, завести часовой механизм, нанести на перо чернила и установить барабан на запись температуры. Часы записи пера должны совпадать с ходом времени суток.

4. Снять показание температуры с психрометрического термометра и с помощью винта 5 установить перо на эту температуру. При полной подготовке прибора к записи поставить термограф в метеорологическую будку.

5. В основные сроки наблюдений (0, 6, 12, 18 ч) сделать на ленте суточного или недельного термографа метку (засечку). Метки делаются сразу же после наблюдений по термографу и сухому термометру психрометра.

6. По окончании записи температуры отвести стрелку от барабана, снять ленту и записать на ней время окончания записи.

7. В лаборатории приступить к обработке термограммы. В нижней части ленты записать ежечасные показания термографа, считывая их с графика ленты с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

8. Против меток, сделанных на ленте в срочные часы, пропуская одну строчку, записать показания психрометрического термометра.

9. Найти поправки за каждый срочный час наблюдений.

10. Найти поправки за промежуточные часы, записать их в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Суточный ход температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ )

Станция _____											
Начало записи: дата _____, часы _____ мин _____											
Конец записи: дата _____, часы _____ мин _____											
Часы . . . . .	1	2	3	4	5	6	. . . . .	22	23	24	
Температура по термографу . . .											
Поправки . . .											
Исправленная температура . . .											

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

11. Найти исправленные значения температур за каждый час и записать их в табл. 3.3. Расчет представить преподавателю для контроля.

Контрольные вопросы

1. Для какой цели предназначен термограф и как устроен приемник температуры в нем?

2. Где устанавливается термограф и какой метеорологический прибор устанавливается в метеобудку одновременно с ним?

3. Каков порядок установки прибора в рабочее состояние и на что следует обратить внимание при наложении ленты на барабан термографа?

4. Каков порядок обработки записей термографа?

5. Как по термограммам определить среднесуточную температуру воздуха?

## Работа 7. Измерение температуры почвы

*Приборы:* минимальный, максимальный, срочный, коленчатые и вытяжные термометры.

*Место выполнения* — метеоплощадка.

Одним из важных факторов жизнедеятельности растений является температура воздуха и почвы.

Прорастание семян, развитие корневой системы и почвенной микрофлоры, интенсивность разложения органических веществ, всасывающая способность корней в большой степени зависят от температуры почвы.

Температурный режим почвы зависит от состава, структуры и влажности почвы, наклона и ориентировки поля, хода метеорологических элементов, наличия снежного или растительного покрова и т. д. Каждое поле имеет свой температурный режим.

Наибольший интерес к температуре почвы агроном проявляет в предпосевной период и после посева до появления всходов растений, так как заделка семян в почву с учетом оптимальной температуры способствует появлению дружных всходов.

Очень важно следить за температурой почвы и в период возможных заморозков.

### I. Измерение температуры поверхности почвы

Для измерения температуры поверхности почвы применяются срочный, максимальный и минимальный термометры (см. рис. 3.1, 3.2 и 3.3).

Термометры размещают на взрыхленной площадке горизонтально. При этом все термометры должны находиться наполовину в почве.

Перед установкой термометров следует показания каждого термометра привести в рабочее состояние. Показание срочного термометра сравнить с показанием контрольного (например, с психрометрическим). Приведение показаний максимального термометра в соответствии с температурой в данный момент производится его резким стряхиванием. После этого показания термометра в соответствие с температурой в данный момент производится на  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

Для установки в рабочее положение минимальный термометр приподнимают резервуаром кверху и держат до тех пор, пока штифт не опустится до мениска спирта.

Каждый термометр снабжается поверочным свидетельством. В поверочном свидетельстве поправки к показаниям даются через каждые  $10^{\circ}\text{C}$  с точностью до сотой доли градуса. Для удобства

пользования поправки сведены по отдельным участкам шкалы, для которых ее принимают постоянной с точностью до 0,1 °С.

При работе с ртутными термометрами надо соблюдать следующие правила техники безопасности: 1) на занятиях в лаборатории допускается работа с ртутными приборами только на специальных столах с бортиками; 2) термометры помещаются в специальные футляры и закрепляются там в гнездах; при изучении термометра его можно осторожно вынуть из гнезда, а после работы с ним снова закрепить его в гнезде футляра; 3) все действия с термометрами, не предусмотренные правилами лабораторных работ, категорически запрещаются.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить устройство метеорологических термометров.
2. Произвести отсчеты по термометрам, установленным на поверхности почвы.

При отсчете наблюдатель располагает глаза так, чтобы визирная линия была перпендикулярна капилляру и проходила через верхнюю (нижнюю) точку мениска столбика ртути (спирта).

3. В показания термометров ввести шкаловые поправки.

Для этой цели каждый термометр имеет поверочное свидетельство, в котором по интервалам температуры указать поправки с точностью до 0,1 °С.

#### *II. Измерение температуры почвы коленчатыми термометрами*

1. Изучить устройство термометров Савинова. Определить цену деления шкалы и пределы измерения температуры.
2. Произвести отсчеты по термометрам.
3. Ввести шкаловые поправки в показания термометров и вычислить исправленные значения температур.
4. Результаты измерений занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

#### **Измерение температуры почвы коленчатыми термометрами (°С)**

Станция \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ . Время отсчета \_\_\_\_\_

Глубина, см	Температура	Поправка	Исправленное значение

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

### III. Измерение температуры почвы вытяжными термометрами

1. Изучить устройство вытяжных термометров. Определить цену деления шкалы и пределы измерения температуры.

2. На метеорологической площадке ознакомиться с установкой вытяжных термометров и измерить температуру почвы на разных глубинах.

3. Ввести шкаловые поправки в показания термометров и вычислить исправленные значения температур.

4. Результаты измерений температуры записать в табл. 3.5.

5. Построить график хода температуры в зависимости от глубины.

Таблица 3.5

#### Измерение температуры почвы вытяжными термометрами (°C)

Станция \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ Время отсчета \_\_\_\_\_

Глубина, см	Отсчет	Поправка	Исправленный отсчет

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

#### Контрольные вопросы

1. Указать значение учета температуры почвы для сельскохозяйственного производства.

2. Какие термометры применяются для измерения температуры поверхности почвы?

3. Какими термометрами можно измерить температуру пахотного слоя?

4. Для чего предназначены вытяжные термометры? Как они устанавливаются?

5. Можно ли по графику распределения температуры в почве определить глубину промерзания почвы в холодный период года?

## Глава 4. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

### 4.1. Величины, характеризующие влажность воздуха

*Влажностью* воздуха называют содержание водяного пара в атмосфере. Водяной пар является одной из важнейших составных частей земной атмосферы. От влажности воздуха зависит состояние воздуха как среды жизнедеятельности растений и животных.

Влажность воздуха характеризуется следующими величинами: абсолютной влажностью, парциальным давлением водяного пара, давлением насыщенного пара, относительной влажностью, дефицитом насыщения водяного пара в воздухе и температурой точки росы.

*Абсолютная влажность*  $a$  — количество водяного пара, выраженное в граммах, содержащееся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха.

*Парциальное давление (упругость) водяного пара*  $e$  (давление водяного пара, находящегося в воздухе) выражается в ньютонах на квадратный метр с точностью до целых и в гектопаскалях, с точностью до десятых ( $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па} = 100 \text{ Н/м}^2$ ). Между абсолютной влажностью  $a$  и упругостью водяного пара  $e$  существует определенное соотношение. Если  $e$  выразить в гПа, то абсолютную влажность можно выразить формулой

$$a = \frac{0,80e}{1 + \alpha t}, \quad (4.1)$$

где  $\alpha$  — коэффициент объемного расширения воздуха, равный  $0,00366 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $t$  — температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Давление насыщенного водяного пара  $E$  (максимально возможное значение  $e$  при данной температуре) выражается в тех же единицах, что и парциальное давление (см. приложение I).

Парциальное давление водяного пара  $e$  вычисляется по психрометрической формуле

$$e = E' - Ap(t - t'), \quad (4.2)$$

где  $E'$  — давление насыщенного водяного пара, взятое по показанию смоченного термометра  $t'$  ( $^\circ\text{C}$ ), гПа;  $t$  — температура сухого термометра,  $^\circ\text{C}$ ;  $p$  — атмосферное давление, гПа;  $A$  — коэффициент, зависящий от скорости ветра и вида психрометра. Для стационарного психрометра  $A = 0,0008 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , для аспирационного  $A = 0,0007 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

*Относительная влажность*  $f$  — это отношение парциального давления водяного пара к давлению насыщенного водяного пара. Она обычно выражается в процентах с точностью до целых:

$$f = \frac{e}{E} 100 \%. \quad (4.3)$$

*Дефицит насыщения водяного пара (недостаток насыщения)*  $d$  — разность между парциальным давлением водяного пара при насыщении и парциальным давлением (упругостью) водяного пара:

$$d = E - e. \quad (4.4)$$

Дефицит насыщения выражается в тех же единицах и с той же точностью, что и величины  $e$  и  $E$ .

*Температура точки росы  $t_d$*  — температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), до которой должен охладиться воздух при данном давлении, чтобы содержащийся в нем водяной пар стал насыщенным. При  $f = 100\%$  фактическая температура воздуха совпадает с температурой росы. Важность этого показателя несомненна, ибо при температурах ниже точки росы происходит конденсация водяных паров с образованием туманов, облаков, осадков в жидкой и твердой фазе, на поверхности земли и предметов образуется роса, иней, изморозь.

## 4.2. Приборы для измерения влажности воздуха

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

*Психрометрический метод* измерения основан на охлаждении одного из двух термометров. На этом принципе действуют стационарный и аспирационный психрометры.

*Гигрометрический метод* основан на изменении длины гигроскопических материалов в зависимости от влажности воздуха. На этом свойстве действуют волосной гигрометр и гигрограф.

**Стационарный психрометр** (рис. 4.1) состоит из двух психрометрических термометров ТМ-4 с ценой деления  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Резервуар правого термометра обвязывают кусочком батиста, конец которого погружен в воду стаканчика. Батист на резервуаре термометра является испаряющей поверхностью. Чем суше воздух, тем быстрее происходит испарение воды с батиста и тем больше отнимается тепла от смоченного термометра. Температура смоченного термометра становится ниже, чем температура сухого.

Вычисление характеристик влажности воздуха производят по показаниям сухого и смоченного термометров. Для этой цели используют формулы (4.1) — (4.4). На практике для ускорения процесса вычисления характеристик влажности воздуха пользуются специальными психрометрическими таблицами.

**Аспирационный психрометр МВ-4М** (рис. 4.2) по принципу действия не отличается от стационарного психрометра. Главная особенность конструкции этого прибора — наличие аспирационного устройства, обеспечивающего обдувание резервуаров термометров

воздухом. Он удобен в переноске и широко применяется при полевых наблюдениях.

Аспирационный психрометр состоит из двух термометров. Резервуар термометра *II* (смоченного) обвязан батистом, обрезан-

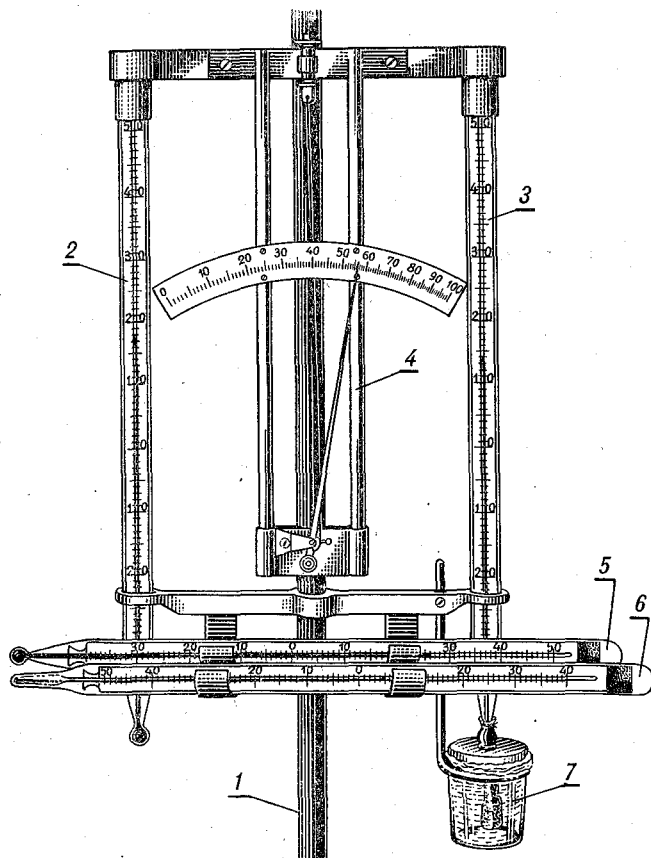


Рис. 4.1. Установка приборов в психрометрической будке.

1 — штатив, 2, 3 — сухой и смоченный термометры, 4 — гигрометр, 5, 6 — максимальный и минимальный термометры, 7 — стаканчик с водой.

ным непосредственно под резервуаром. Термометры закреплены в оправе, состоящей из трубки 9, переходящей в тройник 13, и защитных планок 12. Верхний конец трубки 9 соединен с головкой аспиратора 8, обеспечивающего всасывание наружного воздуха и обтекание его вокруг резервуаров термометров со скоростью 2 м/с. Пружина аспиратора заводится ключом 6. Благодаря изоляции резервуаров от корпуса, хорошей никелировке его металлических поверхностей и постоянной скорости движения воздуха, психрометр не требует защиты от солнечных лучей и ветра.



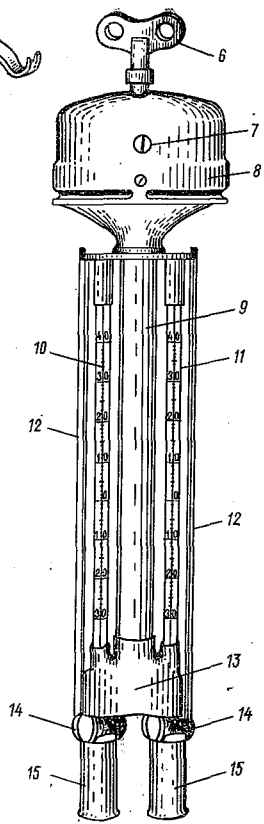
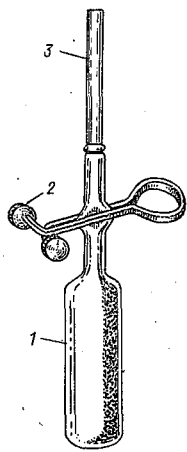
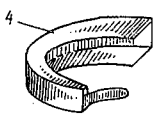


Рис. 4.2. Аспирационный психрометр МВ-4М.

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.

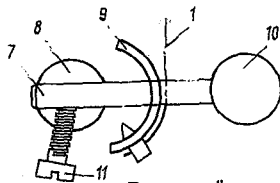
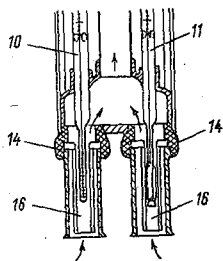
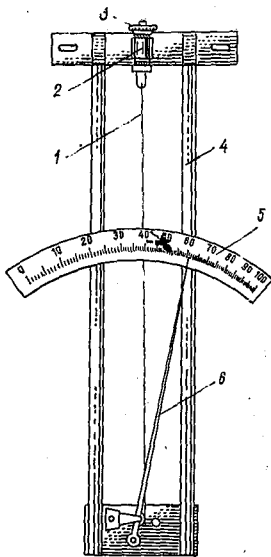


Рис. 4.3. Волосной гигрометр МВ-1.

1 — волос, 2 — регулировочный винт, 3 — контргайка, 4 — рама, 5 — шкала, 6 — стрелка, 7 — стержень, 8 — ось, 9 — кулачок, 10 — грузик, 11 — винт.

Смачивание батиста производится из резиновой груши 1 со стеклянной пипеткой 3 и зажимом 2. Груша наполняется дистиллированной водой. При работе для защиты от сильного ветра на головку прибора надевают ветровую защиту 4.

**Волосной гигрометр МВ-1** (рис. 4.3) при температуре воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  является основным прибором для измерения влажности воздуха. Приемной частью гигрометра служит обезжиренный человеческий волос 1, натянутый на металлическую раму 4.

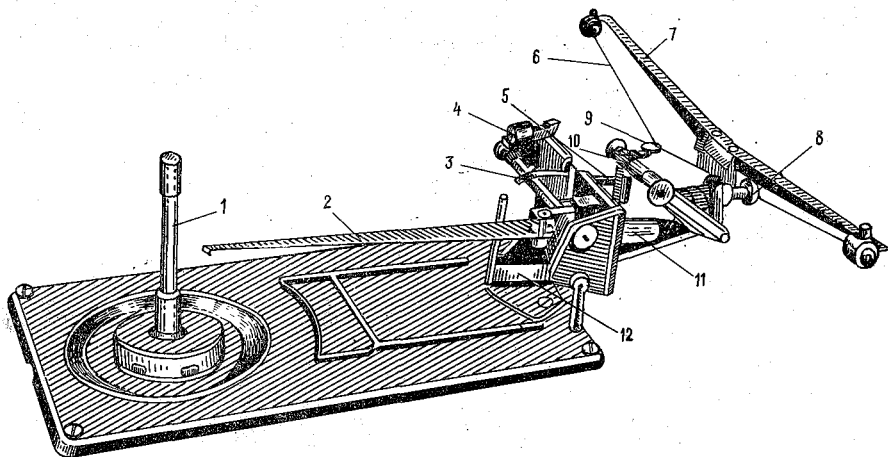


Рис. 4.4. Механизм волосного гигрографа М-21А.

1 — стержень, 2 — стрелка с пером, 3, 5 — криволинейные рычаги, 4 — грузик, 6 — пучок волос, 7 — кронштейн, 8 — установочный винт, 9 — крючок, 10 — рычаг, 11 — кнопка, 12 — отвод.

Верхний конец его закреплен регулировочным винтом 2 с контргайкой 3, а нижний связан со стрелкой 6. Под действием изменения длины волоса и грузика, поддерживающего волос в натянутом состоянии, стрелка вместе с осью поворачивается и фиксирует изменения относительной влажности на шкале 5 с делениями от 0 до 100 %.

**Гигрограф волосной М-21А** (рис. 4.4) применяется для непрерывной регистрации относительной влажности воздуха. Приемником влажности является пучок обезжиренных человеческих волос 6, закрепленный концами в двух эбонитовых втулках металлического кронштейна 7, расположенного с внешней стороны корпуса прибора. Пучок волос за середину надет на крючок 9, который соединен с рычагом 10, укрепленным на одной оси с криволинейным рычагом 5. Благодаря криволинейным рычагам 5 и 3, достигается равномерное перемещение пера стрелки 2 на ленте при неодинаковом изменении длины пучка волос в зависимости от влажности.

Запись осуществляется на ленте, закрепленной на барабане с часовым механизмом. Барабан надевается на неподвижный стержень

жень 1 с зубчатым колесом у основания. В зависимости от скорости вращения барабана различают гигрографы двух видов: суточные и недельные. На ленте гигрографа горизонтальные параллельные линии соответствуют относительной влажности воздуха в процентах (наименьшее деление 2%), вертикальные дуги — времени. На суточных лентах одно деление равно 15 мин, а на недельных — 2 ч.

**Гигрометр метеорологический М-39** предназначен для измерения относительной влажности воздуха (рис. 4.5). Принцип действия гигрометра заключается в том, что при измерении относительной влажности упругие деформации пленочного датчика влажности при помощи системы рычагов передаются на стрелку, перемещающуюся относительно равномерной шкалы.

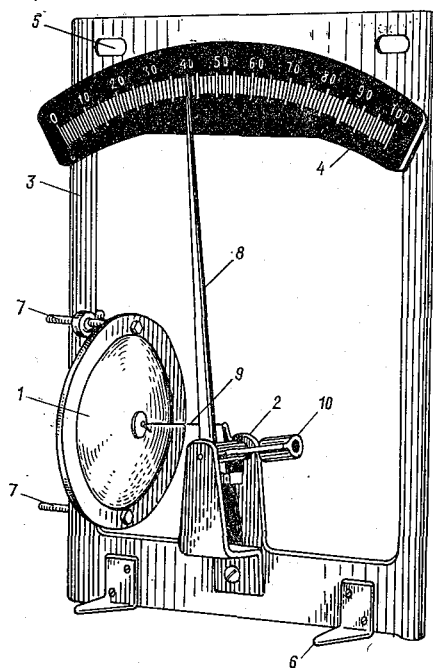


Рис. 4.5. Гигрометр метеорологический М-39.

1 — мембранный пленочный датчик влажности воздуха, 2 — передаточная система, 3 — металлическая рама, 4 — шкала влажности, 5 — прорези рамы, 6 — лапки для установки прибора, 7 — установочные винты датчика, 8 — стрелка, 9 — тяга датчика, 10 — грузик для натяжения пленки.

Гигрометр М-39 состоит из следующих основных частей: а) мембранного пленочного датчика влажности воздуха 1; б) передаточной системы 2; в) рамы 3 со шкалой 4.

Гигрометр М-39 крепится к штативу психрометрической будки.

Диапазон измеряемой влажности воздуха от 20 до 100% в интервале температур от +35 до -60°C.

Наблюдения по пленочному гигрометру производятся по методике, изложенной для волосного гигрометра. Гарантийный срок непрерывной работы гигрометра М-39 — один год со дня его выпуска с завода. В случае необходимости датчик следует заменить запасным.

## Работа 8. Измерение влажности воздуха

*Приборы и принадлежности:* стационарный психрометр, аспирационный психрометр, гигрометр, гигрограф, психрометрические таблицы, анероид или чашечный барометр.

Атмосфера состоит из смеси нескольких газов, называемой воздухом, в котором находятся во взвешенном состоянии жидкие и твердые частицы. Основными газами, составляющими воздух, являются азот, кислород и в небольшом количестве углекислый газ, аргон, водород, гелий, криптон, неон, ксенон, озон, радон, иод, метан. В состав воздуха входит также водяной пар, количество которого определяет влажность воздуха. Содержание водяного пара в атмосфере объясняется испарением воды с поверхностей рек, озер, морей, переносом паров в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Влажность воздуха является одной из существенных характеристик погоды и климата. Например, при низкой влажности, высокой температуре и значительной скорости ветра возникает комплексное метеорологическое явление — суховей.

Измерение влажности воздуха имеет большое значение для сельского хозяйства, так как влажность воздуха обуславливает интенсивность транспирации растений и испарение с почвы, оказывает влияние на биохимические процессы, происходящие в растениях. При высокой влажности воздуха растения содержат больше углеводов, а при низкой (сухой и жаркой погоде) — белковых веществ. Отрицательно отражается на растениях как понижение, так и значительное повышение влажности воздуха. При низкой влажности воздуха может произойти преждевременное увядание растений. Высокая влажность замедляет развитие растений, затрудняет их уборку, способствует развитию грибковых и бактериальных заболеваний, некоторых вредителей сельскохозяйственных культур.

Характеристики влажности воздуха, в частности дефицит насыщения, широко используются для эмпирических расчетов потребности растений во влаге, интенсивности испарения и др.

Измерение влажности воздуха необходимо вести в теплицах, хранилищах сельскохозяйственной продукции, при выращивании растений в закрытом грунте и оранжереях.

#### *Порядок производства наблюдений по стационарному психрометру*

1. Изучить устройство стационарного психрометра. Обратит внимание на наличие воды в стаканчике, на хорошее смачивание батиستا термометра. Проверьте состояние батиستا на резервуаре термометра. Батист, которым обернут резервуар термометра, должен быть чистым и белым. В случае загрязнения батист следует сменить. Вода, применяемая для смачивания, должна быть дистиллированной, в крайнем случае можно использовать хорошо профильтрованную дождевую воду.

2. Отсчитать показания температуры по термометрам с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Отсчеты по термометрам должны производиться возможно быстрее.

3. Ввести шкаловые поправки к отсчетам по термометрам. Поправка берется из поверочного свидетельства с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

4. Определить по барометру или по барографу атмосферное давление в гПа и округлить полученный отсчет до десятков гПа.

### *I. Расчет основных характеристик влажности воздуха по формулам*

5. Для вычисления упругости водяного пара  $e$  используется формула (4.2). Давление насыщенного водяного пара  $E'$  в гПа определяется по значению смоченного термометра  $t'$  из табл. 5 зависимости насыщенного водяного пара от температуры (Психрометрические таблицы. — Л., Гидрометеиздат, 1981).

6. Вычислить относительную влажность воздуха  $f$  и дефицит упругости водяного пара  $d$  по формулам (4.3) и (4.4). Величина  $E$  определяется по значению показаний сухого термометра  $t$  из табл. 5.

7. По упругости водяного пара  $e$  определить температуру точки росы  $t_d$ , при которой фактические пары насыщают воздух. В момент охлаждения воздуха до точки росы водяной пар достигает насыщения, в этом случае величина  $e$  становится равной  $E$ . По табл. 5 определяется величина  $t_d$ .

### *II. Определение основных характеристик влажности воздуха по Психрометрическим таблицам*

На метеорологических станциях вычисление влажности производится при помощи психрометрических таблиц.

Таблица 1 служит для определения температуры точки росы  $t_d$ , упругости  $e$  и дефицита упругости водяного пара  $d$  по измеренным значениям температуры воздуха  $t$  и относительной влажности  $f$ .

Температура воздуха указана над каждой колонкой, которая состоит из четырех граф ( $f$ ,  $e$ ,  $t_d$  и  $d$ ), соответствующих вычисленным характеристикам влажности [формулы (4.2)—(4.4)].

При определении характеристик влажности в таблице по измеренному значению температуры воздуха  $t$  находят колонку, а по относительной влажности  $f$  (предварительно округленной до 5 %) — строку в колонке с соответствующими значениями  $e$ ,  $t_d$  и  $d$ .

Таблица 2 служит для определения температуры точки росы  $t_d$ , упругости водяного пара  $e$ , относительной влажности  $f$  и дефицита упругости водяного пара  $d$  по измеренным значениям температуры воздуха  $t$  и температуры смоченного термометра  $t'$ . Все характеристики влажности вычислены по станционному психрометру при атмосферном давлении 1000 гПа.

При определении характеристик влажности по показаниям психрометрических термометров в табл. 2 по температуре сухого термометра  $t$  находят колонку, а по температуре смоченного термометра  $t'$  — строку с соответствующими значениями  $t_d$ ,  $e$ ,  $f$  и  $d$ .

Если при измерении влажности воздуха психрометром атмосферное давление отличается от 1000 гПа, то в найденные из табл. 2 значения следует ввести поправку на давление.

Поправку к упругости водяного пара  $\Delta e$  определяют по измеренному атмосферному давлению в зависимости от значения  $(t - t')$  и фазы воды на батисте по таблицам:

- 3а (для  $t - t'$  от 0 до 10 °С);
- 3б (для  $t - t'$  от 10 до 30 °С);
- 3в (если на батисте лед).

Поправка  $\Delta e$  прибавляется к найденному из табл. 2 значению  $e$ , если атмосферное давление меньше 1000 гПа, и вычитается, если атмосферное давление больше 1000 гПа.

По исправленному значению  $e_{\text{испр}} = e_{1000} + \Delta e$  в табл. 2 в той же колонке, для  $t$  находят значение  $e$ , наиболее близкое к  $e_{\text{испр}}$ , и в строке, где это значение расположено, находят исправленные значения  $t_d$ ,  $f$  и  $d$ .

*Пример.* Пусть  $t = 22,0$  °С,  $t' = 14,5$  °С,  $p = 1020$  гПа. Определить по психрометрическим таблицам  $t_d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $d$ .

По значениям  $t$  и  $t'$  из табл. 2 находим  $e = 10,4$  гПа, по разности  $t - t' = 7,5$  °С из табл. 3а в строке 1020 гПа определяем поправку  $\Delta e$ ;  $\Delta e = 0,12$  гПа;  $e_{\text{испр}} = 10,4 - 0,12 = 10,3$  гПа (так как  $p > 1000$  гПа). Теперь возвращаемся к табл. 2: при  $t = 22,0$  °С в строке  $e = 10,3$  гПа находим другие характеристики влажности:  $t_d = 7,4$  °С,  $f = 39$  %,  $d = 16,1$  гПа.

Результаты измерений и вычислений характеристик влажности по формулам и психрометрическим таблицам занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Измерение влажности воздуха стационарным психрометром

Станция _____		Дата _____		Время отсчета _____						
Сухой термометр		Смоченный термометр		Давление атмосферы	Характеристика влажности воздуха					
$t$ °С	$t'_{\text{испр}}$ °С	$t'$ °С	$t'_{\text{испр}}$ °С		$e$ гПа	$f$ %	$d$ гПа	$t_d$ °С	$E'$ гПа	$E$ гПа

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Контрольные вопросы

1. Назвать величины, характеризующие влажность воздуха.
2. Какое значение имеет влажность воздуха для сельскохозяйственного производства?
3. Назовите приборы, при помощи которых измеряют влажность воздуха.
4. Почему смоченный термометр в большинстве случаев показывает температуру, меньшую, чем сухой термометр?

5. Каким прибором определяется влажность воздуха среди растений?

### Работа 9. Измерение влажности воздуха с помощью гигрографа

*Приборы и оборудование:* гигрографы суточный и недельный, чистые ленты к гигрографам, гигрограммы, чернила для самописцев, график поправок, психрометрические таблицы.

*Место выполнения* — метеоплощадка.

Необходимость непрерывного измерения относительной влажности воздуха вызвана изучением режима микроклимата среди растений на поле, в теплицах, в животноводческих помещениях, хранилищах сельскохозяйственной продукции и др.

Для непрерывной записи измерений относительной влажности воздуха применяется гигрограф-самописец (см. рис. 4.4).

**Установка гигрографа.** Прибор устанавливается в одной защитной будке с термографом на верхней полке. Для подготовки его к работе стрелку отводят от барабана с помощью отвода 12, снимают с оси барабан, закрепляют ленту полосовой пружиной. На обратной стороне ленты предварительно записывают название станции, номер прибора, дату и время установки. Заводят ключом часовой механизм, надевают барабан на неподвижную ось и подводят перо с чернилами к барабану. На нужное время перо устанавливается поворотом барабана вручную, а на соответствующую влажность — вращением винта 8.

Относительная влажность воздуха в период установки гигрографа определяется по показаниям стационарного психрометра, помещенного в эту же метеобудку.

Показания гигрографа при суточной или недельной работе могут не совпадать с показаниями более точного прибора — стационарного психрометра. Поэтому в показания гигрографа в сроки наблюдения следует вносить поправки. Для этого замеряют относительную влажность по психрометру в срочные часы, а на ленте в эти часы делают засечки легким подъемом пера с помощью кнопки 11.

Волосной гигрограф является относительным прибором и обычно при работе сначала подвергается проверке на пригодность использования. Чтобы получить действительную относительную влажность, необходимо в показания гигрографа ввести поправки, которые находят путем сравнения показаний гигрографа с показаниями психрометра. Эти поправки для разных значений влажности воздуха находят в течение 1—1,5 месяцев графическим методом (рис. 4.6). График составляется обычно в теплое летнее время года; строится по данным приборов в срочные часы (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч).

По горизонтальной оси откладывают относительную влажность по гигрографу, по вертикальной оси — относительную влажность



по психрометру. По полученным точкам строят график, по которому определяют для каждого показания гигрографа соответствующее значение по психрометру. Это будут исправленные значения гигрографа. Если точки в отдельных случаях будут совпадать, то они отмечаются черточками по числу совпадений. Если приборы исправны и измерения проводились правильно, точки

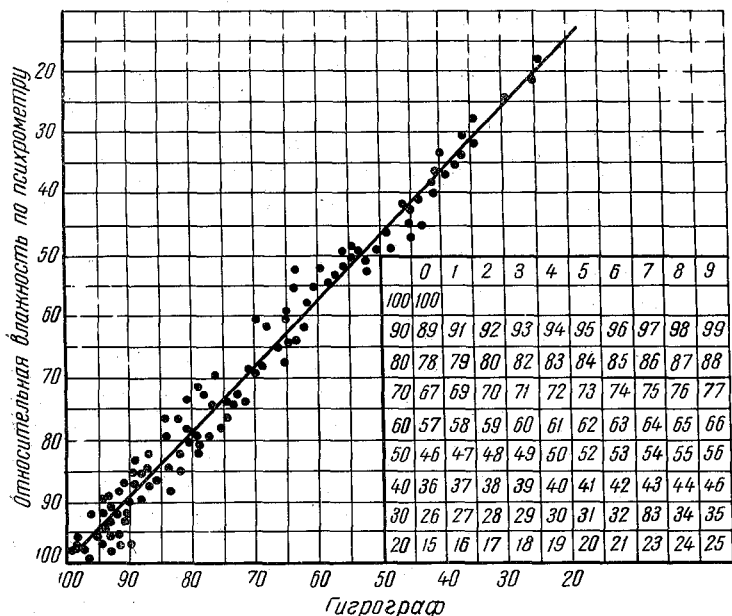


Рис. 4.6. График для приведения показаний гигрографа к показаниям психрометра.

располагаются в узкой полосе. На глаз определяют среднюю линию, относительно которой точки располагаются по обе стороны равномерно, и проводят ее карандашом. Пользуясь этим графиком, для любого показания гигрографа можно найти соответствующее значение относительной влажности.

Более удобно пользоваться не графиком, а переводной таблицей, составленной на его основании (см. рис. 4.6). В таблице в крайнем левом столбце цифры соответствуют десяткам, а в верхней строке — единицам ленты гигрографа. Остальные строки заполняют значениями относительной влажности, снятыми с графика. Например, отсчету по гигрографу «43» соответствует значение влажности 39%; отсчету «83» соответствует 82%.

**Обработка ленты гигрографа.** Поворотом рычага отводят стрелку с пером от ленты. Снимают барабан с оси и освобождают ленту.

Для каждого часа времени снимают с ленты показания относительной влажности воздуха с точностью до 1%. Для каждого

заданного значения гигрографа проводят по графику вертикальную линию до пересечения с проведенной прямой; от точки пересечения проводят горизонтальную линию до пересечения с вертикальной осью, по которой и отсчитывается исправленное значение относительной влажности.

*Порядок выполнения работы*

1. Изучить устройство и принцип работы гигрографа.
2. Получить чистую ленту гигрографа в соответствии с его назначением. На обратной стороне ленты сделать соответствующую запись. Если на барабане была лента за прошедшие сутки или неделю (гигрограмма), то снять ее с барабана для дальнейшей обработки.
3. Надеть ленту на барабан и укрепить ее полосовой пружиной. Завести ключом часовой механизм и надеть барабан на неподвижную ось прибора.
4. Заправить перо чернилами и установить его на соответствующее время суток и влажность, вычисленную по показаниям психрометра. Закрыть крышкой прибор и поставить его в будку.
5. По окончании записи влажности снять ленту, отметив на ней час окончания записи.
6. Записать на ленте ежечасные показания гигрографа, считывая их с графика ленты.
7. Пользуясь гигрограммой и графиком зависимости показаний гигрографа с показаниями психрометра (см. рис. 4.6), найти исправленные значения относительной влажности за каждый час суток.
8. Суточный ход относительной влажности воздуха занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

**Суточный ход относительной влажности воздуха**

Станция \_\_\_\_\_

Начало записи: дата \_\_\_\_\_, часы \_\_\_\_\_ мин \_\_\_\_\_

Конец записи: дата \_\_\_\_\_, часы \_\_\_\_\_ мин \_\_\_\_\_

---

Часы . . . . .	1	2	3	4	. . .	23	24
Показания гигрографа, %							
Исправленные отсчеты, %							

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

*Контрольные вопросы*

1. Для чего предназначен гигрограф и почему он широко применяется в практике, несмотря на его небольшую точность?

2. Каковы основные части гигрографа?
3. Для чего отмечают на ленте точное время и как это делается?
4. Каков порядок установки и обработки ленты гигрографа?
5. Как составляется график или таблица поправок относительной влажности воздуха?

## Глава 5. ОСАДКИ. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ

### 5.1. Осадки. Измерение осадков

В смешанных облаках может происходить укрупнение мелких капелек воды и кристаллов льда. Крупные элементы облаков под действием силы тяжести Земли начинают падать на земную поверхность.

*Осадки* — вода в жидком или твердом состоянии, выпадающая из облаков или осаждающаяся из воздуха на поверхности земли и на предметах. Количество выпавших осадков измеряется толщиной слоя воды в миллиметрах или сантиметрах, который образовался бы на горизонтальной поверхности при условии, что выпавшие осадки не просачивались в почву, не стекали и не испарились. Слой осадков высотой 1 мм на площади 1 га соответствует объему воды  $0,001 \text{ м} \cdot 10\,000 \text{ м}^2$ , или массе ее 10 т. Следовательно, коэффициент для пересчета выпавших осадков из миллиметров в тонны на 1 га равен 10.

*Интенсивность осадков* — количество осадков в миллиметрах, выпадающих за 1 мин (мм/мин). В зависимости от интенсивности и продолжительности различают несколько категорий осадков (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Категории осадков в зависимости от их интенсивности и продолжительности

Название	Продолжительность выпадения, ч		
	1	2	3
	Количество осадков, мм		
Слабый дождь	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 2,0$
Умеренный дождь	1,1—5,0	1,6—7,5	2,1—9,0
Сильный дождь	5,1—10,0	7,6—14,0	9,1—11,5
Очень сильный дождь	10,1—15,0	14,1—21,0	11,6—23,5
Проливной дождь	15,1—23,0	21,1—30,5	23,6—33,0
Ливень	23,1—58,0	30,6—64,0	33,1—72,0
Сильный ливень	$\geq 58,1$	$\geq 64,1$	$\geq 72,1$

Для решения ряда практических вопросов необходимо иметь сведения о количестве выпавших осадков. Поэтому для нужд сельского хозяйства наблюдения за осадками необходимо вести непосредственно на полях колхозов и совхозов.

В зимнее время на метеостанциях ведутся наблюдения за состоянием снежного покрова. Наблюдения состоят из определения степени покрытия снегом территории и характера залегания снежного покрова, измерения его высоты и плотности, а также

определения наличия и толщины ледяной корки и состояния почвы под снегом. *Высота снежного покрова* измеряется в сантиметрах, а *плотность* выражается отношением массы снега ( $\rho$ ) к объему снега ( $\text{см}^3$ ). По данным измерений вычисляют *запас воды в снежном покрове*, сведения о котором необходимы для сельского хозяйства.

## 5.2. Приборы для измерения осадков

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

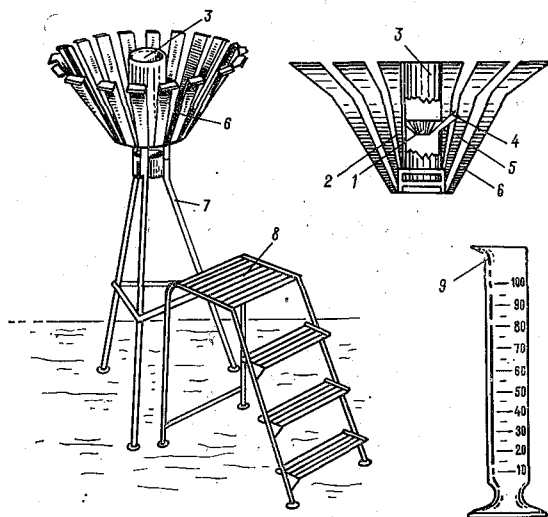


Рис. 5.1. Осадкомер Третьякова О-1.

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

Осадкомер Третьякова О-1 (рис. 5.1) состоит из двух сменных ведер 3. Ведро имеет высоту 40 см и площадь приемной поверхности  $200 \text{ см}^2$ . Для уменьшения испарения осадков из ведра в летнее время при помощи диафрагмы 2 отверстие закрывается воронкой 1. Ведро осадкомера устанавливают в таган, который закреплен неподвижно на подставке 7.

Для уменьшения влияния ветра на количество осадков, попавших в ведро, применяется ветровая защита 6, состоящая из 16 трапецевидных планок. Планки расположены на одинаковом расстоянии друг от друга и соединены между собой внизу и сверху цепочками.

Измерение количества жидких осадков производится измерительным стаканом 9, который представляет собой мензурку с делениями. Одно деление стакана по объему соответствует  $2 \text{ см}^3$ ; при площади приемной поверхности  $200 \text{ см}^2$  одно деление соответствует  $0,1 \text{ мм}$  жидких осадков.

Осадкомер устанавливается на открытом месте в удалении от окружающих предметов. Таган укрепляют на металлической подставке так, чтобы верхний край ведра находился на высоте  $2 \text{ м}$  от поверхности земли. Рядом с подставкой осадкомера находится лесенка 8.

Во время измерений производят смену ведер (четыре раза в сутки). Измерение количества твердых осадков производят после того, как они полностью растают, при этом ведро должно быть закрыто крышкой. Если осадков окажется более 100 делений стакана, то измеряют их в несколько приемов, записывая число делений каждого измерения и общую сумму. Количество выпавших осадков в миллиметрах соответствует числу делений стакана, уменьшенному в 10 раз.

К результатам измерений вводят поправку на смачивание ведра. Для осадков, количество которых меньше половины высоты стакана, поправка составляет  $+0,1 \text{ мм}$ , а для осадков больше половины высоты стакана поправка равна  $+0,2 \text{ мм}$ .

Дождемер полевой М-99 (рис. 5.2) применяют для измерения жидких осадков в полевых условиях и среди растений. Дождемер представляет собой стеклянный мерный стакан 1 высотой  $34 \text{ см}$ .

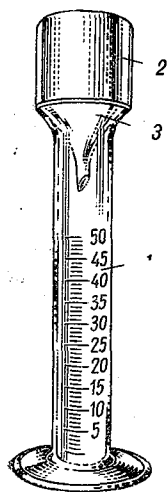
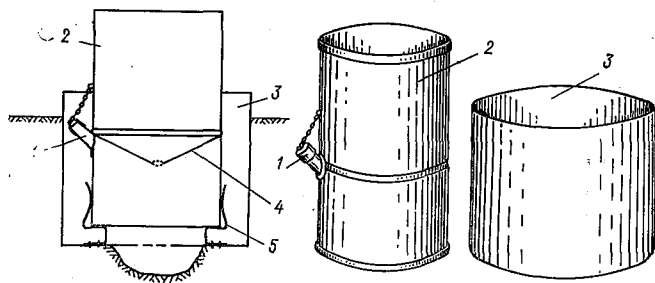


Рис. 5.2. Дождемер полевой М-99.

1 — стакан, 2 — верхняя часть стакана, 3 — воронка.

Рис. 5.3. Почвенный дождемер ГР-28.

1 — носик, 2 — ведро, 3 — гнездо, 4 — диафрагма, 5 — опоры.



с расширенной верхней частью 2, являющейся приемником осадков. Площадь приемной поверхности  $30 \text{ см}^2$ . На мерном стакане дождемера нанесены деления в миллиметрах слоя воды. Для уменьшения испарения в стакан вставляется воронка 3.

**Почвенный дождемер ГР-28** (рис. 5.3) применяют для измерения жидких осадков, которые выпадают на уровне почвы. Он используется в комплекте с испарителями. Дождемерное ведро имеет площадь 500 см<sup>2</sup>.

Измерения по дождемеру производят так же, как по осадкомеру. Цена деления измерительного стакана, приложенного к прибору, равна 5 см<sup>3</sup>, что соответствует 0,1 мм осадков.

**Плювиограф П-2** (рис. 5.4), или дождеписец, служит для непрерывной регистрации количества и интенсивности дождя. При помощи этого прибора может быть измерено общее количество осадков, выпавших за определенное время, и их интенсивность в мм/мин.

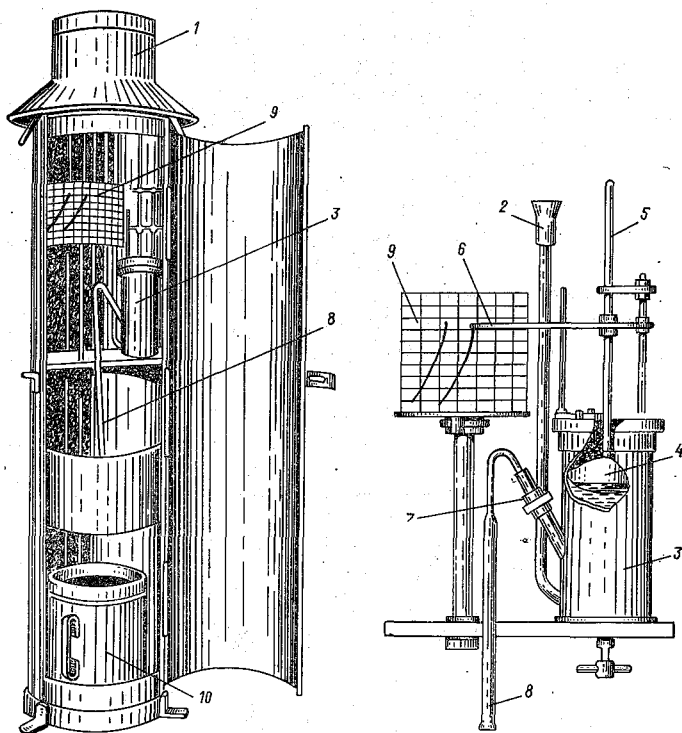


Рис. 5.4. Плювиограф П-2.

1 — приемный сосуд, 2 — сливная трубка, 3 — поплавковая камера, 4 — поплавок, 5 — стержень поплавка, 6 — стрелка с пером, 7 — трубка, 8 — сифон, 9 — барабан, 10 — водосборный сосуд.

Плювиограф состоит из дождемерного сосуда 1 с приемной площадью 500 см<sup>2</sup>. Осадки из ведра 1 поступают в сосуд 3, внутри которого имеется металлический поплавок 4 с выступающей осью 5 и стрелкой 6, заканчивающейся пером. Сбоку сосуда 3 имеется трубка с сифоном 8. Рядом с сосудом 3 укреплен на оси барабан 9 с часовым механизмом. На барабане крепится бумаж-

ная лента — плувиограмма (рис. 5.5). Горизонтальные линии на ней соответствуют количеству осадков, вертикальные — соответствуют времени. Горизонталы проведены через 0,2 мм, а вертикали — через 10 минут.

При выпадении жидких осадков поплавков 4 сосуда 3 начинает подниматься, а перо, связанное с осью поплавка, будет писать на ленте кривую. Как только осадки заполняют сосуд 3, начинается дей-

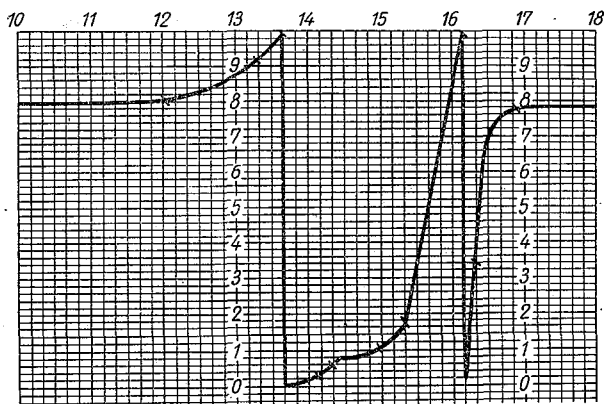


Рис. 5.5. Образец записи на ленте плувиографа.

ствовать сифон 8. Вода через сифон выливается в ведро 10. На ленте в этот момент чертится вертикальная линия.

Высоту снежного покрова измеряют в нескольких местах. Для этого применяют постоянные и переносные снегомерные рейки.

**Постоянная снегомерная рейка М-103** представляет собой брус, длиной около 2 м, сечением  $6 \times 2,5$  см, размеченный на сантиметры (рис. 5.6).

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

Наблюдения за высотой снежного покрова по постоянным рейкам ведут с одного и того же места на расстоянии 5—6 шагов от рейки. Отсчет высоты снега производят в сантиметрах. За высоту снежного покрова на каждом участке принимается среднее арифметическое из отсчетов по трем рейкам.

**Переносная снегомерная рейка М-104** служит для измерения высоты снежного покрова при маршрутных съемках. Она представляет собой деревянный брусок, длиной 180 см, шириной 4 см и толщиной 2 см (см. рис. 5.6). Нижний ее конец заострен и обит



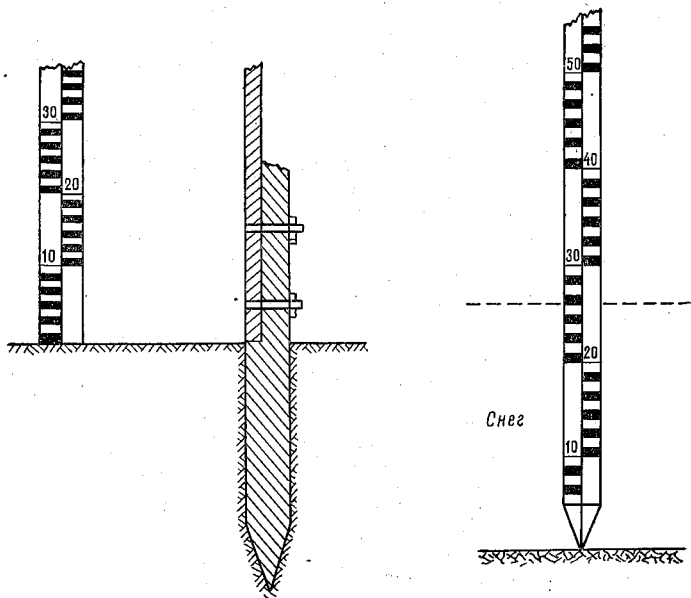


Рис. 5.6. Снегомерные рейки.

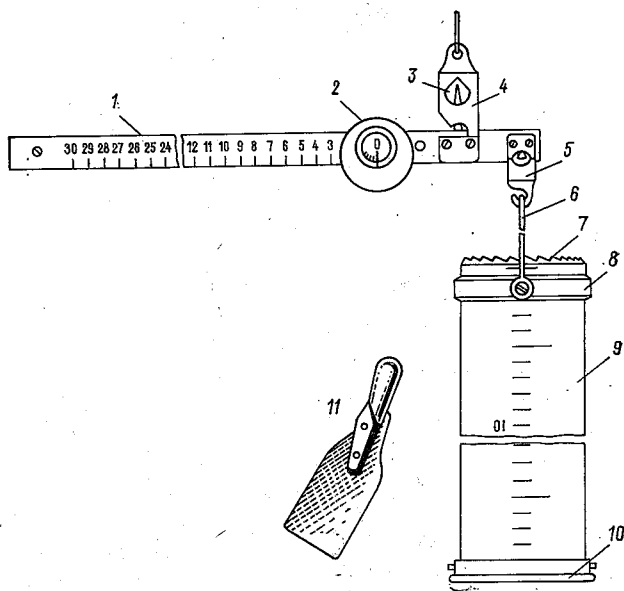


Рис. 5.7. Походный весовой снегомер ВС-43.

1 — лагунная рейка, 2 — передвижной груз, 3 — стрелка, 4 — подвес, 5 — крючок, 6 — дужка, 7 — режущая кромка, 8 — кольцо, 9 — снегозаборник, 10 — крышка, 11 — лопатка.

жестью. Начало делений совпадает с нижним обрезом наконечника. На одной стороне рейки нанесены деления в сантиметрах. Переносные рейки изготавливают также из дюралюминиевых трубок.

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

**Походный весовой снегомер ВС-43** (рис. 5.7) состоит из металлического цилиндра 9, высота которого 60 см, площадь поперечного сечения 50 см<sup>2</sup>. Для измерения высоты снежного покрова на цилиндр нанесена шкала в сантиметрах. Нулевое деление шкалы совпадает с нижней частью режущей кромки. Вдоль цилиндра свободно перемещается кольцо 8 с дужкой 6, за которую подвешивают цилиндр (снегозаборник) к весам.

Весы снегомера состоят из рейки 1 со шкалой (цена деления 5 г). Цифры стоят около каждого десятого деления и означают десятки от 0 до 30. На рейке укреплены две призмы. Одна служит опорой для крючка 5, на который подвешивают цилиндр, а на вторую надевается подвес 4 с кольцом, за которое держат весы при взвешивании.

Для уравнивания весов служит передвижной груз 2 с круглым отверстием. Для отсчета по шкале на нижней стороне отверстия нанесена риска.

## Работа 10. Измерение осадков и расчет запасов воды

*Приборы и принадлежности:* осадкомер Третьякова, дождемер полевой, плювиограф П-2, ленты к плювиографу.

*Место выполнения* — метеоплощадка и лаборатория.

Осадки служат основным источником накопления запасов почвенной влаги, а последние составляют единственный источник водоснабжения сельскохозяйственных культур. Отсутствие или недобор осадков влечет за собой пересыхание пахотного горизонта почвы, ухудшает состояние растений, снижает урожай.

Количество осадков и время их выпадения могут значительно изменяться в пространстве. Измерение осадков необходимо для расчетов по выработке норм орошения и для решения ряда других практических вопросов.

### *Порядок выполнения работы*

#### *1. Определение количества выпавших осадков по осадкомеру Третьякова*

1. Изучить устройство осадкомера Третьякова.
2. Определить цену деления шкалы измерительного стакана осадкомера.

Для этого следует произвести пересчет в миллиметры одного деления стакана осадкомера, равного  $2 \text{ см}^3$ , по следующей формуле:

$$h = V_1/S,$$

где  $h$  — высота слоя осадков (цена деления), мм;  $V_1$  — объем воды, равный 1 делению измерительного стакана,  $\text{см}^3$ ;  $S$  — площадь приемной поверхности ведра осадкомера ( $200 \text{ см}^2$ ).

3. Измерить количество осадков с точностью до 0,1 мм. Для этого следует из ведра осадкомера вылить осадки в измерительный стакан. Число делений воды в стакане, уменьшенное в 10 раз, и даст количество осадков, выраженное в мм.

Если отсутствует измерительный стакан, то количество осадков можно вычислить с помощью мензурки по формуле

$$H = \frac{V}{S} \cdot 10,$$

где  $V$  — объем воды в мензурке,  $\text{см}^3$ ,  $S = 200 \text{ см}^2$ ,  $H$  — количество осадков, мм.

4. Определить поправку на смачивание ведра осадкомера.

Разность между количеством осадков (мм), вылитых из измерительного стакана в ведро, и осадков, перелитых обратно из ведра в измерительный стакан (мм), даст поправку на смачивание.

5. Рассчитать объем воды, выпавшей на гектар. Выпало осадков  $H$  мм, т. е.  $0,001H$  м;  $1 \text{ га} = 10\,000 \text{ м}^2$ , следовательно, объем выпавшей воды  $W = 10\,000 \text{ м}^2/\text{га} \cdot 0,001H \text{ м} = 10H \text{ м}^3/\text{га}$ .

При плотности воды, равной  $1 \text{ г}/\text{см}^3$ ,  $W = 10H \text{ т}/\text{га}$ .

Таким образом, для вычисления объема воды в  $\text{м}^3$ , выпавшей на 1 га, достаточно слой осадков (мм) умножить на 10.

6. Результаты измерений осадков записать в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Измерение осадков осадкомером Третьякова

Станция _____		Дата _____	
Объем осадков, $V \text{ см}^3$	Площадь ведра осадкомера, $S \text{ см}^2$	Количество осадков, $H \text{ мм}$	Объем воды на 1 га, $W \text{ м}^3/\text{га}$

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

II. Обработка ленты плuviографа

1. Изучить устройство и принцип действия плuviографа.
2. Снять ленту с барабана и приступить к ее обработке в следующей последовательности:

- а) определить время начала и конца дождя;
- б) записать количество осадков, выпавших за каждый час с точностью 0,1 мм;
- в) вычислить сумму осадков, выпавших за сутки. Сравнить полученную сумму с показанием суммы на ленте;
- г) определить час суток, в который шел дождь с максимальной интенсивностью. Вычислить максимальную интенсивность дождя.

Интенсивность осадков выражается толщиной слоя воды (мм), выпадающей в 1 мин.

3. Результаты обработки ленты плевниографа записать в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Суточный ход осадков по ленте плевниографа

Станция _____	Дата _____				
	Начало дождя _____	Окончание дождя _____			
Часы . . . . .	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24 и т. д.
Осадки, мм . . . . .					
Максимальная интен- сивность, мм/мин . . .					
Сумма осадков, мм . . .					

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Контрольные вопросы

1. Что называют осадками и в каких единицах они измеряются?
2. Укажите основные приборы, применяемые для измерения осадков в разное время года.
3. Как измерить осадки, не имея стандартных приборов?
4. Как определить запас воды на 1 га, если известно количество осадков, выраженное в миллиметрах?
5. Какое значение имеют осадки для сельскохозяйственного производства?

**Работа 11. Измерение плотности снега и запасов воды в снежном покрове**

*Приборы:* весовой снегомер, постоянные снегомерные рейки (см. рис. 5.6), переносная снегомерная рейка.

*Место выполнения* — метеоплощадка.

Снег, выпадающий при отрицательных температурах на земную поверхность, образует снежный покров, который оказывает большое влияние на тепловой и водный режимы почвы и воздуха.

Для сельского хозяйства снежный покров важен как источник пополнения запасов влаги, необходимой растениям, и как защита от вымерзания озимых, многолетних трав, корневой системы плодовых и ягодных культур. Сведения о его высоте, плотности и запасах воды необходимы для правильного суждения о влиянии снежного покрова на перезимовку и продуктивность зимующих культур.

Состояние снежного покрова характеризуют его высотой (см), плотностью ( $\text{г/см}^3$ ) и характером залегания на территории поля или сада.

*Плотность снега* — это отношение массы пробы снега  $m$  к ее объему  $v$ :

$$d = \frac{m}{v} \text{ [г/см}^3\text{]}. \quad (5.1)$$

*Высота снежного покрова* вычисляется как среднее арифметическое из отсчетов по трем рейкам, установленным на метеоплощадке.

*Характер залегания снега* определяется визуально: равномерный, без оголений, лежит местами и т. д.

#### *Измерения характеристик снежного покрова снегомером*

За 30 мин до измерений снегомер выносят из помещения, чтобы он принял температуру окружающего воздуха. Проверяют равновесие снегомера. Если при пустом цилиндре нет совпадения с нулевым делением, то записывают показания делений  $n_0$ . После этого цилиндр заточенным краем погружают в снег до тех пор, пока он не дойдет до почвы, и по шкале цилиндра измеряют высоту снежного покрова  $h$ . После этого лопаткой 11 (см. рис. 5.7), входящей в комплект снегомера, очищают снег с одной стороны снегомера, а затем аккуратно подсовывают лопатку под цилиндр таким образом, чтобы весь снег, заключенный в цилиндре, остался внутри него. Не отнимая лопатки, вынимают цилиндр из снега и переворачивают его крышкой 10 вниз. Подвешивают снегомер за дужку и взвешивают. Записывают деление линейки, против которого установилась риска грузика 2. Отсчитав показания весов  $n_1$ , определяют фактическое показание весов:  $n = n_1 - n_0$ . Перед следующим измерением снегозаборник освобождают от снега и вновь определяют нулевое показание весов.

Расчет плотности снега производится по массе и объему его пробы. Масса взятой пробы равна  $5n$  г, где  $n$  — число делений, отсчитанных по шкале весов, а объем снега равен  $50h$   $\text{см}^3$ , где  $h$  — отсчет по шкале цилиндра (см); 50 — площадь поперечного сечения снегозаборного цилиндра ( $\text{см}^2$ ). Тогда плотность снежного покрова  $d$  ( $\text{г/см}^3$ ) будет равна:

$$d = 5n/50h = n/10h. \quad (5.2)$$

В тех случаях, когда снежный покров больше 60 см, весь столб снега вырезают последовательно в несколько приемов. Для опре-

деления плотности в этом случае:  $h$  равно сумме всех отсчетов высот при взятии проб,  $n$  — сумма всех отсчетов по весам.

Плотность снега вычисляется с точностью до сотых долей г/см<sup>3</sup>, для чего деление на  $10h$  производится до третьего десятичного знака, а результат округляется до второго десятичного знака.

Весовым снегомером можно сразу определить запасы воды в снеге.

Дополнительные расчеты в этом случае не производятся, потому что весы и цилиндр подобраны так, что запас воды взятой пробы снега соответствует числу делений на весах  $n$ . Масса снега  $5n$  одновременно будет массой воды, полученной из снега, и, следовательно, ее объемом. Зная объем воды и приемную площадь цилиндра, рассчитывают высоту слоя воды. Для этого объем воды делят на площадь сечения и для выражения воды в миллиметрах умножают на 10:

$$\frac{5n}{50} \cdot 10 = n.$$

Таким образом, число делений, отсчитанное на весах при взвешивании пробы снега, равно количеству воды в снеге в миллиметрах. Запас воды в снеге можно выразить в тоннах или в м<sup>3</sup> воды на 1 га по формуле  $W = 10n$ .

#### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить устройство снегомера и правила работы с прибором.

2. Определить нулевое показание весов при пустом снегозаборнике.

3. На метеоплощадке подобрать ровную поверхность снега и при полном охлаждении снегомера приступить к измерению характеристик снега.

Если снежный покров меньше 60 см, то, погрузив цилиндр в снег до соприкосновения его нижнего края с поверхностью почвы, отсчитывают высоту снежного покрова по шкале цилиндра. Затем закрывают крышку и лопаткой, входящей в комплект снегомера, счищают снег с одной стороны заборника, аккуратно подсовывают ее под его режущий край так, чтобы весь снег, заключенный в цилиндре, там остался. Не отнимая лопатки, вынимают заборник из снега и переворачивают его крышкой книзу.

Очищают заборник от приставшего снаружи снега, подвешивают его за дужку к крючку весов и, держа в руке весы за кольцо, взвешивают заборник со снегом; результат записывают (число делений шкалы весов).

4. Вычислить плотность снега для каждого измерения [формула (5.2)].

5. Определить ожидаемый запас воды в снеге, выраженный в мм и м<sup>3</sup>/га.

6. Результаты измерений и вычислений характеристик снежного покрова занести в табл. 5.4.

## Измерение характеристик снежного покрова

Станция \_\_\_\_\_ . Дата \_\_\_\_\_

№ измерений	Высота снега $h$ , см	Исправленный отсчет по без- мену $n$	Плотность снега $d$ , г/см <sup>3</sup>	Толщина слоя воды $H$ , мм	Запас воды $W$ , м <sup>3</sup> /га

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

## Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет снежный покров в сельскохозяйственном производстве?
2. Какими величинами характеризуется снежный покров?
3. Что такое плотность снега и по какой формуле она рассчитывается?
4. Как устроен весовой снегомер?
5. Как по показаниям снегомера определить высоту слоя воды в мм и запасы в м<sup>3</sup>/га?

# Глава 6. ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА. ИСПАРЕНИЕ

## 6.1. Влажность почвы

В природных условиях почва всегда содержит воду. Почвенная влага является важнейшим фактором жизнедеятельности растений. Поглощенная корнями вода переносит с собой растворимые минеральные вещества, поддерживает тургор листьев, идет на построение органических соединений.

Запасы почвенной влаги пополняются за счет атмосферных осадков, грунтовых вод и орошения. Поглощение воды почвой, просачивание осадков, испарение, колебание продуктивной влаги и другие особенности водного режима почвы зависят от ее свойств: механического состава, влагоемкости и др.

В настоящее время в практике приняты следующие основные показатели (константы) влагосодержания почвы.

Количество влаги, которое почва способна удерживать в воздушно-сухом состоянии, называется *гигроскопической влажностью*, или *гигроскопичностью*, и выражается в процентах к массе абсолютно сухой почвы.

Наибольшее количество воды, которое почва способна поглотить из воздуха атмосферы, насыщенной парами воды, называется *максимальной гигроскопической влажностью*, или *максимальной гигроскопичностью*. В реальных почвах она колеблется от 2 до 15% и превышает гигроскопическую влажность не более чем в два раза.

Влажность почвы, при которой наблюдается устойчивая потеря тургора произрастающими растениями, называется *влажностью устойчивого завядания*. Определяется она в опытах с растениями и зависит от типа почвы и типа растительности (табл. 6.1). Обычно влажность устойчивого завядания в 1,1—2,2 раза больше макси-

Таблица 6.1

Примерные значения максимальной гигроскопичности и влажности устойчивого завядания для разных типов почв  
(по С. А. Вериге и Л. А. Разумовой)

Механический состав почвы	Максимальная гигроскопичность, %	Влажность устойчивого завядания, %
Песок	0,5—1,5	0,5—1,5
Супесь	1,5—3,0	1,5—4,0
Суглинок:		
легкий	3,0—5,0	3,5—7,0
средний	5,0—6,0	5,0—7,0
тяжелый	6,0—8,0	8,0—12,0
Глина	8,0—12,0 и выше	12,0—20,0



мальной гигроскопичности (см. табл. 6.1). В случаях когда влажность устойчивого завядания не может быть определена лабораторным методом, она рассчитывается по максимальной гигроскопичности путем умножения последней на средний коэффициент, равный 1,34.

Наибольшее количество воды, которое почва способна длительно удерживать после обильного увлажнения и свободного стекания влаги, называется *полевой влагоемкостью* почвы, или *наименьшей влагоемкостью*.

Количество влаги в почве, когда зеркало грунтовых вод достигает поверхности почвы и все почвенные поры заняты водой, называют *полной влагоемкостью*.

## 6.2. Измерение влажности почвы

Влажность почвы определяется содержанием воды в почве. Она выражается в абсолютных и относительных величинах. *Абсолютная влажность почвы* измеряется в миллиметрах слоя воды. *Относительная влажность почвы*  $W$  определяется отношением массы воды, содержащейся в почве, к массе сухой почвы и выражается в процентах:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \%, \quad (6.1)$$

где  $m_1$  — масса образца почвы до просушивания, г;  $m_2$  — масса образца почвы после просушивания, г.

Между абсолютным содержанием воды  $H$  (мм) в слое почвы и относительной влажностью  $W$  (%) существует зависимость

$$H = \frac{W \cdot dh \cdot 10}{100}, \quad H = 0,1W \cdot dh, \quad (6.2)$$

где  $d$  — объемная масса сухой почвы ненарушенного сложения, г/см<sup>3</sup>;  $h$  — толщина слоя почвы, для которой вычисляется запас воды, см.

Количество влаги, содержащееся в почве сверх влажности устойчивого завядания и участвующее в создании органического вещества растений, называется *продуктивной влагой*.

Часть почвенной влаги, не усваиваемая растениями и не участвующая в создании органического вещества растений, называется *непродуктивной влагой почвы*.

Количество продуктивной влаги в почве принято выражать в миллиметрах слоя воды в определенном слое почвы, что позволяет сопоставлять ее запасы с расходами воды на испарение и с количеством выпадающих осадков.

Для перевода влажности почвы, выраженной в процентах, в миллиметры продуктивной влаги применяют формулу

$$W_{\text{пр}} = 0,1 \cdot dh (W - K), \quad (6.3)$$

где  $W_{пр}$  — запасы продуктивной влаги, мм;  $K$  — влажность устойчивого завядания, % от массы абсолютно сухой почвы; остальные величины те же, что и в формуле (6.2).

Продуктивная влага корнеобитаемого слоя толщиной 100 см и более определяется как сумма запасов влаги 10-сантиметровых слоев почвы.

Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальные запасы продуктивной влаги в почве близки к наименьшей влагоемкости. Наименьшая влагоемкость в слое 0—100 см для черноземных почв равна 180—200 мм, для суглинистых — 170—180 мм, для супесчаных — 150—160 мм, для песчаных — 80—120 мм.

Учет наличия продуктивной влаги в почве необходим для оценки потребности растений в воде, для обоснования технологии возделывания сельскохозяйственных культур, определения и оптимизации агротехнических мероприятий (эффективности вносимых в почву минеральных удобрений, системы обработки почвы, регулирования водного режима и др.).

### 6.3. Испарение с поверхности почвы и растений

*Испарением* называют процесс перехода жидкого вещества в газообразное. Для практических целей скорость испарения выражается высотой слоя воды (мм), испаряющейся в единицу времени. Слой воды высотой 1 мм, испаряющийся с площади 1 м<sup>2</sup>, соответствует массе воды 1 кг. В естественных условиях интенсивность испарения зависит от многих факторов и в первую очередь от температуры испаряющей поверхности, дефицита насыщения воздуха водяным паром в прилегающем слое и скорости ветра.

Испарение воды растениями называется *транспирацией*. Количество воды, необходимое растениям для образования одной единицы массы сухого вещества, называется *коэффициентом транспирации*. Он зависит от вида и сорта растения, состояния и фазы развития, от состояния окружающей среды — температуры и влажности воздуха, почвы и др. (табл. 6.2). Транспирационный коэффициент позволяет определять показатели эффективности использования влаги различными растениями.

*Испаряемость* — потенциально возможное в данной местности испарение с увлажненной поверхности почвы или поверхности воды при существующих метеорологических условиях. Испаряемость определяют для того, чтобы иметь представление о предельно возможном испарении в данной местности, что важно для оценки влагообеспеченности растений и расчета мероприятий по орошению (табл. 6.2).

Для измерения испаряемости используют прибор *лизиметр*. В нем устанавливается уровень «грунтовых вод», обеспечивающий неограниченное потребление влаги растениями. Этот метод очень сложен, так как требует устройства специальных лизиметрических площадок.

Для климатических оценок испаряемости используют эмпирические формулы, в которых испаряемость определяется по метеорологическим показателям воздуха (формулы Н. Н. Иванова, С. И. Костина, Г. Т. Селянинова и др.).

Для измерения испарения из почвы используют почвенные испарители. В зависимости от назначения они бывают разных конструкций. Наибольшее распространение имеют испарители, с по-

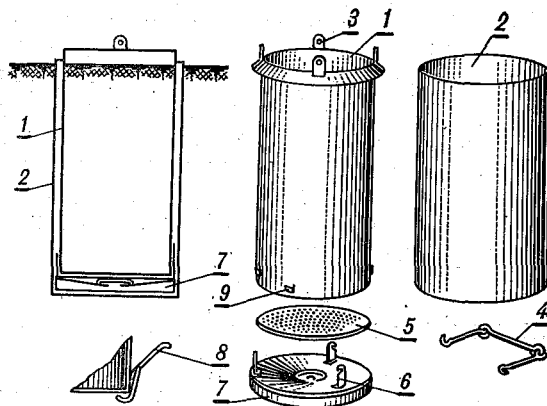


Рис. 6.1. Почвенный испаритель ГГИ-500-50.

1 — внутренний цилиндр, 2 — внешний цилиндр, 3 — ушки, 4 — ручки, 5 — дно внутреннего цилиндра, 6 — планки, 7 — водосборный сосуд, 8 — защелки, 9 — упоры.

мощью которых испарение определяется по разности результатов измерений по испарителю и дождемеру через определенные промежутки времени.

**Почвенный испаритель ГГИ-500-50** (рис. 6.1) состоит из внутреннего цилиндра 1, внешнего цилиндра-гнезда 2, водосборного сосуда 7 и двух ручек 4 для переноски испарителя. Почвенный монолит помещают в цилиндр 1. В комплект испарителя входят весы, подъемное устройство и почвенный дождемер.

Таблица 6.2

**Ориентировочные значения транспирационных коэффициентов различных культур, полученные разными авторами**

Культура	Транспирационный коэффициент	Культура	Транспирационный коэффициент
Пшеница	450—600	Конопля	600—800
Овес	600—800	Лен	400—500
Рожь	500—800	Подсолнечник	500—600
Кукуруза	250—300	Травы	500—700
Гречиха	500—600	Картофель	300—600
Просо	200—250	Овощи	500—800
Рис	500—800	Лиственные породы деревьев	400—600
Хлопок	300—600		

Испарение вычисляют по формуле

$$E = 0,02(m_1 - m_2) + r_1 - r_2, \quad (6.4)$$

где  $E$  — испарившийся слой воды между двумя взвешиваниями, мм;  $m_1$  и  $m_2$  — масса монолита соответственно в предыдущий и текущий сроки измерений, г;  $r_1$  — количество осадков по почвенному дождемеру (см. рис. 5.3), мм;  $r_2$  — количество осадков, просочившихся в водосборный сосуд между сроками наблюдений, мм.

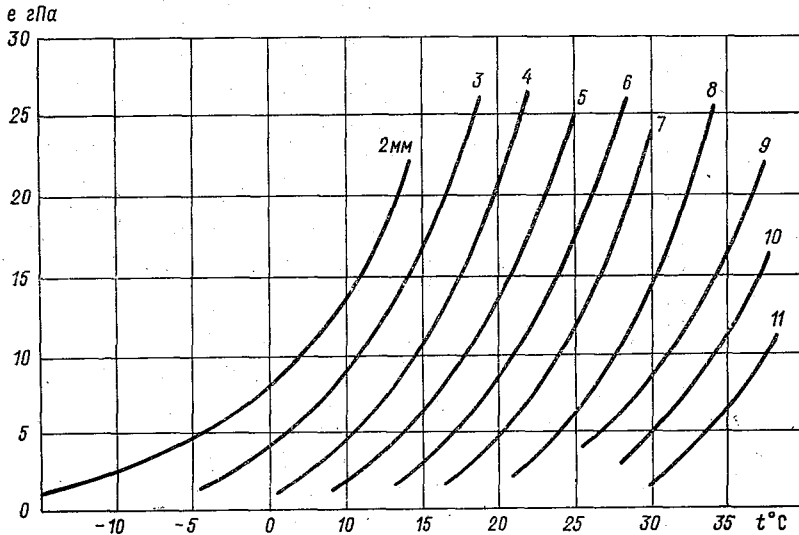


Рис. 6.2. Зависимость максимально возможного испарения с сельскохозяйственных полей при оптимальном увлажнении почвы (мм/сут) от температуры воздуха и парциального давления водяного пара. По А. Р. Константинову.

Испарение влаги с полей, занятых сельскохозяйственными культурами, определяется также с помощью испарителя ГГИ-500-50, в который помещают монолит с сельскохозяйственной культурой.

Испарение с поля можно рассчитать по запасам влаги активного (0—100 см) слоя почвы по формуле

$$E_n = r + (W_n - W_k), \quad (6.5)$$

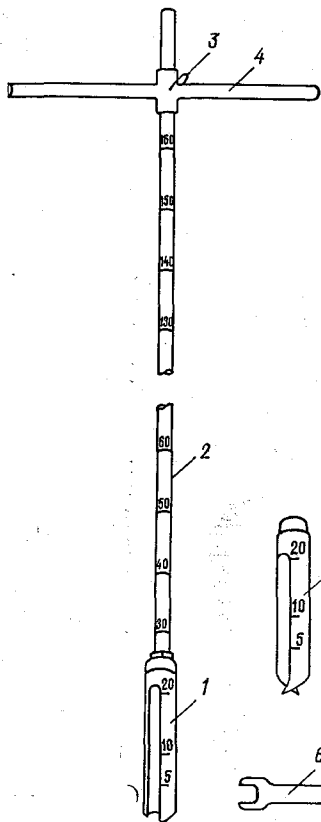
где  $E_n$  — испарение за определенный период, мм;  $r$  — осадки, выпавшие на поверхность поля за данный период, мм;  $W_n$  и  $W_k$  — начальные и конечные запасы влаги слоя почвы, мм.

Максимально возможное испарение (испаряемость) с поверхности поля можно определить по графику связи величины  $E$  с температурой воздуха и парциальным давлением водяного пара (рис. 6.2). Для этого необходимо знать среднесуточные показатели указанных величин.

## Работа 12. Определение влажности почвы

*Приборы и принадлежности:* почвенный бур, набор баночек в ящике, нож или ключ-чистилка, технические весы, разновесы, термостат.

*Место выполнения* — поле под зерновой культурой, лаборатория.



Для взятия пробы почвы служит **почвенный бур** (рис. 6.3.). Если бур поставить на почву, нажать на него и одновременно вращать ручку в ту или другую сторону, то стакан бора будет входить в землю и внутри стакана окажется некоторое количество почвы; при этом необходимо следить, чтобы бур шел перпендикулярно поверхности почвы. Если бур вынуть из земли, то одновременно будет вынута проба почвы.

Когда требуется взять пробу из глубины большей, чем длина стакана, то введение бора в одну и ту же скважину можно повторить несколько раз, последовательно вынимая буром почву до тех пор, пока не будет достигнута желаемая глубина. Отбор проб почвы обычно делается через каждые 10 см до глубины 50, 100 см.

Рис. 6.3. Почвенный бур АМ-16.

1, 5 — буровые стаканы, 2 — штанга с контргайкой, 3 — фиксатор, 4 — рукоятка, 6 — ключ-чистилка.

Из взятой пробы, пользуясь ножом и стамеской, берут небольшой объем почвы массой 30—40 г и помещают в баночку. Затем баночку закрывают крышкой и вкладывают в гнездо ящика. При этой работе в журнале наблюдений следует записать глубину взятия пробы и номер стаканчика. Подобным образом берутся несколько проб, чтобы исключить возможность случайных ошибок и быть уверенным в правильности полученных результатов.

Взятие проб делают в четырехкратной повторности для каждого поля.

После возвращения с поля необходимо включить термостат и приступить к взвешиванию баночек на технических весах с точностью до 0,1 г. Затем снять крышку и открытую баночку вместе с пробой и крышкой поставить в термостат на сушку. Во время сушки температура термостата не должна опускаться ниже 100 °С

и подниматься выше 105°C для того, чтобы испарение было полным и не было возгонки некоторых составных частей почвы. Продолжительность сушки для песчаных и легких суглинистых почв 6—7 ч, для глинистых 8—10 ч, для торфяных 10—12 ч. После сушки баночки с пробами взвешиваются. Чтобы быть уверенным, что проба действительно высушена, следует произвести дополнительную сушку в течение 2—3 ч и затем еще раз взвесить. Перед каждым взвешиванием закрытые баночки охлаждают в эксикаторе. Заканчивать сушку проб следует тогда, когда разность их масс после последней сушки и предшествующей ей сушки не превышает 0,1 г.

На основании разности масс проб до и после высушивания вычисляют влажность почвы [формула (6.1)]. В целях ускорения работы по определению влажности почвы сушильные баночки приводят к одинаковой массе.

### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить методику выполнения работы по взятию почвенных проб.
2. На опытном поле с помощью бура взять пробы почвы в четырех повторностях до глубины 50 см.
3. В лаборатории взвесить баночки с пробами, записав их массы в журнал отдельно для каждой баночки.
4. Баночки с пробами поставить в термостат для сушки.
5. Через определенное время, в зависимости от почв, после охлаждения произвести контрольное взвешивание проб и поставить их в термостат для повторной сушки.
6. Через 2—3 ч произвести повторное взвешивание проб. Записать массу проб без массы баночки до и после высушивания.
7. Определить относительную влажность каждой пробы [(по формуле (6.1))].
8. Вычислить абсолютное содержание воды в каждом десятисантиметровом слое почвы [формула (6.2)]. Объемная масса сухой почвы берется из агроклиматического справочника или по данным ближайшей метеостанции.
9. Вычислить запасы продуктивной влаги для каждого слоя [формула (6.3)]. Влажность устойчивого завядания берется там же, где и объемная масса почвы.
10. Вычислить продуктивную влагу для слоя почвы 0—50 см.
11. Результаты определения влажности занести в табл. 6.3.

### *Контрольные вопросы*

1. Что называется влажностью почвы, в каких единицах она выражается?
2. Какую подготовительную работу следует провести для определения влажности почвы на заданном поле?
3. Написать формулу для расчета влажности почвы термостатно-весовым методом.

## Определение влажности почвы и запасов продуктивной влаги

Станция \_\_\_\_\_ Культура поля \_\_\_\_\_

Дата взятия проб \_\_\_\_\_

Номер баночки	Глубина слоя, см	Масса сырой пробы, г	Масса сухой пробы, г	Влажность, %	Содержание воды, мм	Продуктивная влага, мм
	0—10					
	11—20					
	и т. д.					

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

4. Как перевести относительную влажность почвы в продуктивную влагу для данного слоя почвы? Какие агрометеорологические константы используются в этих расчетах?

5. Для какой цели определяют влажность почвы и проводят расчет продуктивной влаги?

## Глава 7. ВЕТЕР У ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

### 7.1. Характеристика ветра

*Ветром* называется горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Он возникает вследствие неодинакового атмосферного давления в разных точках атмосферы.

Ветер характеризуется *направлением, скоростью и порывистостью* воздушного потока. За направление ветра принимается та точка горизонта, откуда дует ветер. Направление ветра определяется по восьми румбам горизонта (странам света) или в градусах, начиная от северного румба по часовой стрелке (рис. 7.1). Для обозначения главных румбов используются начальные буквы названий стран света: север (С), юг (Ю), восток (В) и запад (З). Иногда используют латинские буквы. Северный и южный румбы являются основными. При обозначении промежуточных румбов называют оба румба, между которыми находится данное направление ветра, причем первым по порядку называют основной румб. Например, если направление ветра находится между югом и западом, то оно обозначается ЮЗ и называется юго-западным.

Скорость ветра выражается в метрах за секунду или в километрах в час. Сила ветра зависит от скорости и выражается в условных единицах (баллах).

В каждой точке пространства происходят быстрые изменения как скорости, так и направления отдельных струй воздуха. Такой характер движения воздуха называется порывистостью ветра.

### 7.2. Приборы для измерения направления и скорости ветра

В зависимости от задач исследований применяются различные приборы и методы наблюдений за ветром. Для измерения направления и скорости ветра в приземном слое воздуха служат *флюгеры, анемометры и анеморумбометры*.

**Флюгер стационарный (флюгер Вильда)** по устройству прост и достаточно широко используется для измерения направления, скорости и порывистости ветра (рис. 7.2). Чувствительным элементом направления ветра в этом приборе является флюгарка *I* с противовесом *2*. Она укреплена на трубке *7*, которая надевается на заостренный конец неподвижной оси *3* и свободно вращается вокруг нее. Для определения направления ветра на неподвижной оси расположена муфта *4* с восемью штифтами, указывающими направление стран света. На одном из них укрепляется буква С, направленная на север.



Приемником скорости ветра служит прямоугольная доска (пластина) 5, свободно качающаяся около горизонтальной оси 6. С осью закреплена дуга 8 с восемью штифтами, по которым отсчитывают положение доски, отклоняющейся под действием ветра. На оси 6 крепится противовес 10 для уравнивания дуги 8. Штифты дуги нумеруются от 0 до 7. Для удобства отсчета четные

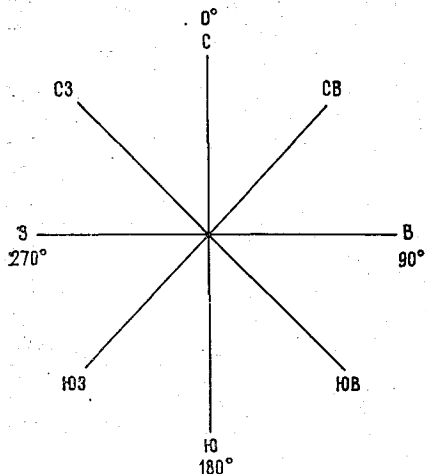


Рис. 7.1. Основные румбы.

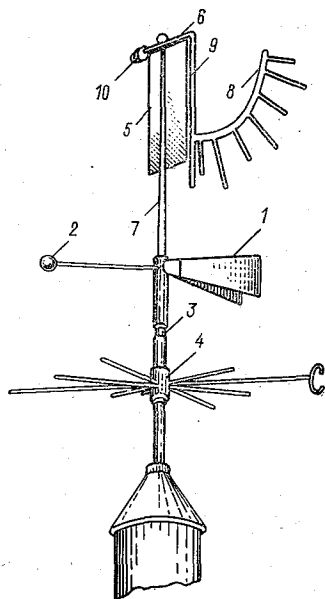


Рис. 7.2. Флюгер Вильда.

1 — флюгарка, 2 — противовес флюгарки, 3 — неподвижная ось, 4 — муфта, 5 — металлическая доска, 6 — горизонтальная ось, 7 — трубка, 8 — дуга со штифтами, 9 — стержень дуги, 10 — груз-противовес.

штифты (0, 2, 4, 6) длиннее нечетных (1, 3, 5, 7). Каждому штифту соответствует определенная скорость ветра (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Градуировочная таблица флюгера с легкой доской

Положение доски	Скорость ветра, м/с	Положение доски	Скорость ветра, м/с
Штифт 0	0	Штифт 4	8
Между штифтами 0 и 1	1	Между штифтами 4 и 5	9
Штифт 1	2	Штифт 5	10
Между штифтами 1 и 2	3	Между штифтами 5 и 6	12
Штифт 2	4	Штифт 6	14
Между штифтами 2 и 3	5	Между штифтами 6 и 7	17
Штифт 3	6	Штифт 7	20
Между штифтами 3 и 4	7	Выше штифта 7	>20

Примечание. У флюгера с тяжелой доской скорость ветра увеличивают в два раза.

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

На метеорологических станциях флюгеры устанавливаются на мачте высотой 10—12 м от поверхности земли.

**Ветромер Третьякова** (рис. 7.3) служит для измерения направления и скорости ветра в полевых условиях. По устройству ветромер напоминает флюгер.

Направление ветра измеряется по флюгарке 4, надетой на вертикальную ось 1. Скорость ветра измеряется по углу отклонения ложкообразной пластинки 6. Положение пластинки определяется по шкале, нанесенной на плоскость флюгарки 4. Деления на шкале нанесены в м/с и обозначены цифрами 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10.

Ветромер устанавливается на деревянном шесте необходимой высоты. Положение звезды 2 во время наблюдений проверяют по компасу.

**Анемометр ручной чашечный МС-13** (рис. 7.4) служит для измерения скорости ветра за небольшие промежутки времени (обычно 100 с) в пределах 1—20 м/с. Его широко применяют при агрометеорологических наблюдениях для измерения скорости ветра на полях с различными сельскохозяйственными культурами, в лесополосах и др.

Чувствительным элементом этого прибора является небольшая вертушка 2 с четырьмя полусферическими чашками, обращенными выпуклостями в одну сторону. Вертушка насажена на ось 1. В нижней части ось имеет червячную (винтовую) нарезку, соприкасающуюся с зубчатым колесом, которое передает вращение вертушки счетному механизму. Счетный механизм помещен внутри корпуса и представляет собой систему зубчатых колес, связанных с тремя стрелками, которые при вращении вертушки перемещаются по трем шкалам.

Центральная шкала 6 имеет 100 делений. По этой шкале отсчитывают десятки и единицы оборотов. Малые шкалы имеют 10 делений и служат для отсчета сотен и тысяч оборотов.

Счетный механизм включается и выключается арретиром, выступающий конец которого расположен сбоку корпуса и имеет вид подвижного кольца 3. Движением арретира вверх (против часовой стрелки) счетчик анемометра включают, а движением вниз (по часовой стрелке)—выключают. В корпусе прибора по обе стороны арретира ввинчены два ушка, через которые протягиваются концы шнура, прикрепленного к кольцу 3 для включения и выключения прибора, когда его нельзя достать рукой. Снизу под корпусом прибора имеется стержень с винтовой нарезкой 4 для установки анемометра на деревянном шесте в вертикальном положении.

От механических повреждений вертушка защищена металлическими дужками. Анемометр хранится в футляре с выключенным механизмом.

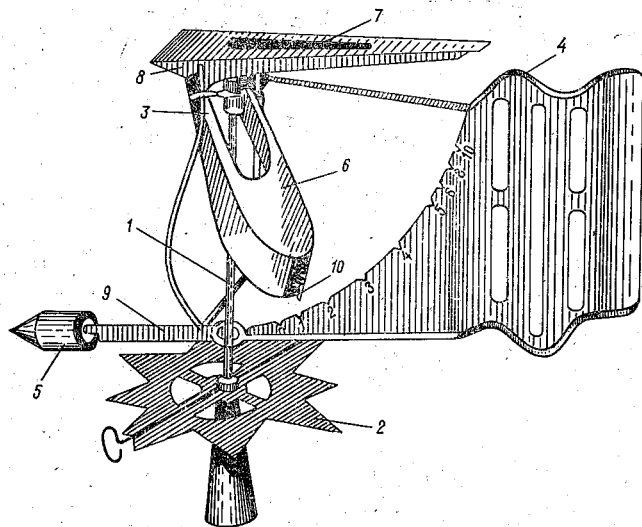


Рис. 7.3. Ветромер Третьякова.

1 — вертикальная ось, 2 — восьмиконечная звезда, 3 — цилиндр, 4 — флюгарка, 5 — противовес, 6, 7 — пластинки, 8 — ось, 9 — шарнирное крепление, 10 — указатель,

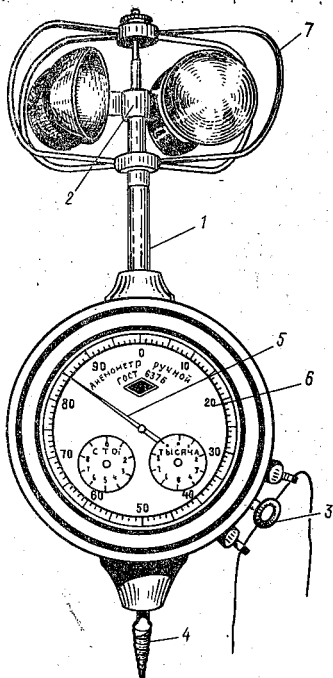


Рис. 7.4. Анемометр ручной чашечный МС-13.

1 — ось, 2 — вертушка, 3 — кольцо арретира, 4 — винтовая нарезка, 5 — стрелка центральной шкалы, 6 — центральная шкала, 7 — металлическая дуга.

**Анемометр ручной индукционный (АРИ-49).** Этот анемометр предназначен для измерения скорости ветра в пределах 2—30 м/с и позволяет производить измерения непосредственно в единицах скорости. Он представляет собой сочетание трехчашечного анемометра с магнитным тахометром (рис. 7.5). Действие анемометра основано на принципе измерения угловой скорости вращения трехчашечной вертушки. Вертушка является приемной частью анемометра. Она состоит из трех чашек, жестко закрепленных во втулке, насаженной на ось, которая вращается.

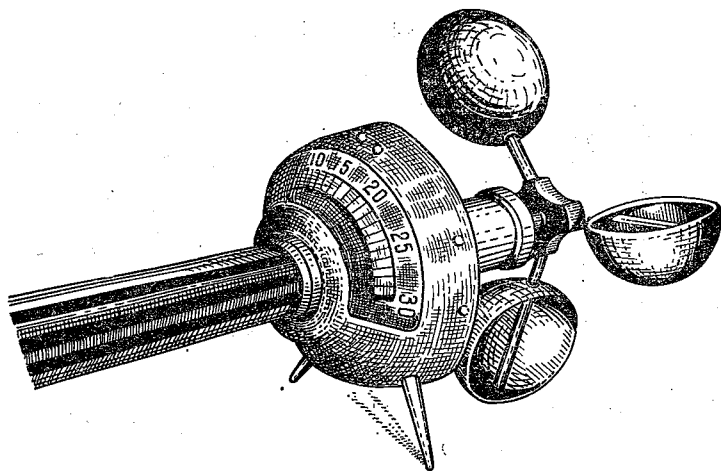


Рис. 7.5. Анемометр ручной индукционный АРИ-49.

На нижнем конце оси укреплена магнитная система, состоящая из магнита, магнитопровода и температурного компенсатора.

Воздушный поток действует на прибор, вертушка вместе с осью вращается в одну и ту же сторону. Вращающаяся вместе с осью магнитная система создает магнитное поле, вызывающее в металлическом колпачке вихревые токи. Взаимодействие вихревых токов с вращающимся магнитным полем вызывает момент, под действием которого поворачивается колпачок. Значение угла поворота оси с колпачком пропорционально числу оборотов вертушки. Следовательно, отклонение стрелки анемометра связано со скоростью ветра. Скорость ветра определяется по положению стрелки на шкале.

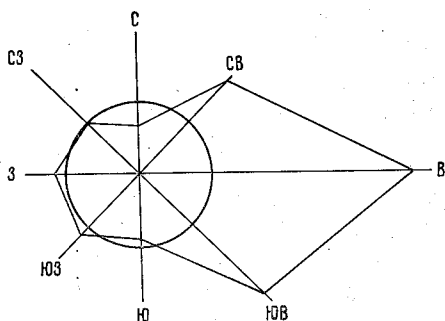
**Измерение скорости ветра.** Анемометр устанавливается на мачте высотой около 2 м, его можно также держать в руке, подняв над головой так, чтобы он свободно обдувался ветром. Анемометр должен быть повернут шкалой к наблюдателю. Отсчет следует делать не ранее чем через 10 с, когда скорость вертушки установится. Анемометр благодаря инерционности его подвижной системы несколько осредняет результаты измерений (интервал

осреднения 5—6 с). При измерении скорости ветра малой порывистости достаточно произвести 2—3 отсчета с интервалом 5—10 с, при порывистом ветре — 10—12 отсчетов; скорость вычисляется как среднее из полученных отсчетов.

Для наблюдений за порывистостью ветра необходимы малоинерционные приборы, способные реагировать на быстрые изменения скорости и направления. Такими приборами являются *анемографы* и *анеморумбометры*.

### 7.3. Роза ветров

Направление и скорость ветра в течение сезона обычно меняются. Для характеристики ветрового режима местности могут



быть необходимыми сведения о преимущественном направлении ветра. Для анализа повторяемости различного направления используют график, называемый «розой ветров». Это графическое изображение на-

Рис. 7.6. Роза ветров за июль для ст. Мичуринск.

правления ветра за месяц, сезон и год.

При построении розы ветров рассчитывается повторяемость ветра для каждого из восьми румбов, т. е. вычисляется, сколько раз повторялось то или иное направление ветра за данный период. Полученные значения выражаются в процентах от общего числа наблюдений (число штилей в 100 % не входит). В табл. 7.2 приводится повторяемость различного направления ветра за июль для ст. Мичуринск.

Для построения розы ветров вычерчивают восемь румбов направлений ветра. На румбах в определенном масштабе откладываются повторяемость ветра данного направления. Эти точки последовательно соединяются и получается роза ветров (рис. 7.5).

Таблица 7.2

Направление ветра и среднее число штилей за июль для ст. Мичуринск									
Направление . . .	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Число случаев . . . . .	6	15	34	22	8	10	10	9	10
Повторяемость, % . . . . .	5	13	30	19	7	9	9	8	8

В центре розы ветров показывают число штилей. По графику легко определить преобладающее направление ветра в данном месте за определенный период. Анализ розы ветров позволяет сделать вывод о размещении промышленных предприятий относительно населенных пунктов, а также о размещении лесных полос, ферм и выборе направлений снегозадержания на полях.

### **Работа 13. Измерение скорости и направления ветра. Построение розы ветров**

*Приборы и исходные данные:* стационарный флюгер, ручные анемометры, секундомеры, данные о направлении ветра за сезон, график или сертификат для определения скорости ветра по показаниям анемометра.

*Место выполнения* — метеоплощадка.

Данные о ветровом режиме широко используются в сельскохозяйственной практике. Ветер способствует перемешиванию воздуха, поддерживая постоянство газового состава атмосферы. Он переносит влажный воздух с океанов и морей в глубь материков, обеспечивая растения влагой. Ветер способствует опылению растений, переносу семян дикорастущих деревьев и трав.

Отрицательное действие ветра состоит в усилении непродуктивного испарения с поверхности почвы, обуславливающего почвенную засуху, в усилении повреждения растений при действии суховеев, а также в ветровой эрозии.

Скорость ветра и его направление необходимо учитывать при подкормке посевов удобрениями и при опылении ядохимикатами садов с самолетов. Направление господствующих ветров (по розе ветров) необходимо знать при закладке лесополос и посеве кулис, при снегозадержании и борьбе с ветровой эрозией, при выпасе скота на пастбищах и т. д.

Очень важно учитывать влияние ветра на распространение вредных примесей, поступающих в атмосферу от промышленных предприятий.

#### *Порядок выполнения работы*

##### *I. Измерение скорости ветра*

1. Изучить устройство и принцип действия ручного анемометра. Провести тренировочную работу по пуску и остановке прибора, снятию отсчетов по трем циферблатам.

2. На метеоплощадке установить два анемометра на разных высотах (1,5 и 3,0 м).

3. В табл. 7.3 записать начальные показания анемометров  $N_n$ . Отсчет берется в такой последовательности: записывают число тысяч (малая правая шкала), число сотен (малая левая шкала) и десятки с единицами (большая центральная шкала).

4. Включить одновременно секундомер и счетчики анемометров и через несколько минут (не менее 100 секунд) выключить. Снять показания с трех циферблатов каждого анемометра  $N_k$  и записать в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Измерение скорости ветра анемометром

Станция _____ Дата _____	Высота			
	1,5 м		3 м	
	1-е измерение	2-е измерение	1-е измерение	2-е измерение
Отсчеты по приборам				
Начальный отсчет				
Конечный отсчет				
Разность отсчетов				
Время экспозиции, с				
Число делений в секунду				
Скорость, м/с				
Средняя скорость, м/с				

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

5. Найти разность показаний приборов для каждой высоты ( $N_k - N_n$ ). Разность показаний в отсчетах дает число вращений вертушки анемометра за  $t$  секунд работы.

6. Определить значение показаний счетчика за одну секунду для каждой высоты ( $V$  дел/с):

$$V = \frac{N_k - N_n}{t}$$

7. По числу делений в секунду из градуировочного графика или поверочного свидетельства (сертификата) определить скорость ветра.

Ручные анемометры устроены так, что целое число делений в секунду совпадает со скоростью ветра, выраженной в м/с. Если  $V$  (дел/с) не равно целому числу, то проводят десятичную интерполяцию. На этой закономерности строится график скорости к каждому анемометру.

8. Повторить измерение скорости ветра для каждой высоты.

9. Результаты измерений занести в табл. 7.3.

II. Определение направления и скорости ветра по флюгеру Вильда

1. Изучить устройство флюгера.

2. Определить направление ветра. Для этого нужно подойти к основанию столба, на котором установлен флюгер, стать под



указателем направления ветра и, наблюдая за колебаниями флюгарки (см. рис. 7.2) в течение двух минут, определить ее среднее положение по отношению к указателям сторон горизонта. Положение оси флюгарки как бы переносится на штифты-румбы и таким образом определяется сторона света, откуда дует ветер.

3. Определить скорость ветра. Для этого наблюдатель должен отойти от столба и стать перпендикулярно направлению ветра таким образом, чтобы луч зрения совпадал с плоскостью отклоняющейся доски—указателя скорости. Наблюдая за качанием доски в течение 2 мин, нужно определить ее среднее положение по отношению к штифтам дуги. В журнале записать направление ветра и номер штифта дуги, около которого (или между которыми) наблюдалось среднее положение доски.

4. Повторить измерение параметров ветра и результаты занести в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Характеристика ветра, измеренная флюгером Вильда

Станция \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Вид флюгера	Направление ветра	Отклонение доски (№ штифта)	Скорость, м/с	Характеристика ветра
С легкой доской				

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

5. По положению доски флюгера, пользуясь табл. 7.1, определить скорость ветра.

6. Дать характеристику ветра по направлению и скорости. Направление ветра считают *постоянным* в том случае, если за время наблюдения противовес флюгарки (рис. 7.2) колебался в пределах одного румба; в противном случае ветер характеризуют как *меняющийся*. По скорости ветер называют *ровным*, если доска колеблется в течение 2 мин около одного штифта или между двумя соседними штифтами дуги. Если диапазон колебаний больше двух штифтов, ветер называют *порывистым*. При этом скорость резко меняется: возрастает до некоторого максимума, а затем уменьшается.

### III. Построение розы ветров

1. По числу случаев каждого направления ветра за месяц рассчитать повторяемость в процентах от общего числа наблюдений. Число штилей в 100 % не входит (подсчитывается отдельно).

2. Построить график розы ветров.

Для этого на восьми румбах (см. рис. 7.1) откладывается повторяемость ветра в процентах. Наиболее практичным считается масштаб 1 см на румбе — 5 % повторяемости. Концы полученных отрезков соединяются прямыми линиями.

3. По графику определить преобладающее направление ветра.

#### *Контрольные вопросы*

1. Что называется ветром и какими величинами он характеризуется?

2. Какое значение имеет ветер в сельскохозяйственном производстве?

3. Назовите приборы, используемые для измерения направления и скорости ветра.

4. Устройство ручного анемометра и принцип его действия.

5. Что такое «роза ветров» и какое значение она имеет в практике сельского хозяйства?

## Глава 8. ПРОДУКТЫ КОНДЕНСАЦИИ И СУБЛИМАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА.

### 8.1. Конденсация водяных паров

Переход водяных паров воздуха из парообразного состояния в жидкое называется *конденсацией*. В атмосфере возможен также непосредственный переход водяного пара в твердое состояние; в этом случае говорят о *сублимации* пара.

Состояние водяных паров в атмосфере зависит от их количества и температуры воздуха. При охлаждении влажного воздуха постепенно достигается температура точки росы. Если такой влажный воздух соприкасается с холодными растениями, почвой и предметами, то пары превращаются в капельки воды и, осаждаясь на предметах, образуют росу.

Как источник влаги в природе роса играет важную роль. В зависимости от условий за одну ночь может образоваться 0,1—0,3 мм осадков. Вместе с другими продуктами конденсации и сублимации на поверхности почвы и растений роса дает 10 % годовой нормы осадков.

В условиях, аналогичных выпадению росы, но при снижении температуры на поверхности предметов ниже  $0^{\circ}\text{C}$  образуется *иней*, состоящий из ледяных кристаллов. Этот процесс типичен для переходных периодов года, т. е. для весны или осени, и происходит преимущественно в инверсионных условиях.

Зимой появляются изморозь и гололед. *Изморозь* образуется в тумане при морозной погоде на деревьях и различных объектах в виде блестящих на солнце рыхлых кристаллов, осыпающихся при слабом ветре. *Гололед* — это образование на поверхности объектов ледяного слоя, который непрерывно нарастает и достигает значительной толщины. Он возникает при густом тумане и сильном ветре и поэтому «растет» в направлении движения воздуха. Слой льда бывает настолько тяжелым, что под его давлением ломаются сучья деревьев, обрываются электрические провода. Гололед появляется также при дожде с температурой ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . При выпадении переохлажденных капель на поверхность земли они превращаются в ледяную корку.

В нижних слоях атмосферы нередко происходит конденсация водяных паров в виде *тумана*, слой которого достигает высоты 200 м. Он состоит из мельчайших водяных капелек или кристаллов льда, которые ухудшают дальность видимости до значения менее 1 км. Основное условие образования тумана — охлаждение приземного слоя воздуха. Наиболее часто туманы образуются ночью.

*Облаками* называют системы взвешенных в атмосфере на некоторой высоте над земной поверхностью продуктов конденсации и сублимации водяного пара. Независимо от причин образования

облака всегда состоят из водяных капель или ледяных кристалликов размером, как правило, меньше 0,1 мм.

## 8.2. Классификация облаков

Многообразие процессов, связанных с образованием облаков, обуславливает существование большого количества их форм, а следовательно, и необходимость их классификации. При метеорологических наблюдениях принята морфологическая (по внешнему виду) международная классификация облаков, включающая четыре семейства и десять родов (форм), которые в свою очередь подразделяются на ряд видов и разновидностей. Семейства и формы облаков, их русские и латинские наименования, а также сокращенные обозначения (в скобках) указаны в следующей схеме.

**А. Семейство облаков верхнего яруса** (высота основания более 6 км):

- 1) перистые, *Cirrus* (циррус, Ci);
- 2) перисто-кучевые, *Cirrocumulus* (циррокумулюс, Cc);
- 3) перисто-слоистые, *Cirrostratus* (цирростратус, Cs).

**Б. Семейство облаков среднего яруса** (высота основания от 2 до 6 км):

- 4) высоко-кучевые, *Alto cumulus* (альтокумулюс, Ac);
- 5) высоко-слоистые, *Altostratus* (альтостратус, As).

**В. Семейство облаков нижнего яруса** (высота основания менее 2 км):

- 6) слоистые, *Stratus* (стратус, St);
- 7) слоисто-кучевые, *Stratocumulus* (стратокумулюс, Sc);
- 8) слоисто-дождевые, *Nimbostratus* (нимбостратус, Ns).

**Г. Семейство облаков вертикального развития** (нижнее основание на высоте 0,5—1,5 км, вершины могут достигать верхнего яруса):

- 9) кучевые, *Cumulus* (кумулюс, Cu);
- 10) кучево-дождевые, *Cumulonimbus* (кумулонimbus, Cb).

Формы облаков подразделяются на виды и разновидности, различающиеся по внешнему виду, плотности, окраске, характеру осадков, оптическим явлениям.

Облака своей формой, количеством и мощностью характеризуют те физические процессы, которые происходят в атмосфере. Различные формы облаков и последовательность их появления тесно связаны с типом погоды и предстоящими ее изменениями. Облака являются одним из важнейших признаков определения погоды на короткий срок (3—4 ч).

**Облака верхнего яруса** состоят из ледяных кристаллов, через них просвечивают голубое небо, Солнце и Луна. Вследствие преломления и отражения световых лучей в этих облаках около Солнца или Луны наблюдаются гало и оптические явления в виде

кругов, дуг, световых столбов и пр. Перистые облака имеют вид белых тонких волокон, хлопьев. Все облака верхнего яруса имеют белый цвет и не дают теней на земной поверхности.

**Облака среднего яруса** отличаются от облаков верхнего яруса большей плотностью. Эти облака имеют сероватый цвет и дают слабые тени. Они состоят из мельчайших капелек воды при отрицательных температурах. В них могут находиться и мелкие ледяные кристаллы. Из этих облаков может выпасть морось, а зимой — снежные зерна и ледяные иглы.

Высоко-кучевые облака напоминают хлопья, более крупные, чем перисто-кучевые. Они состоят из капелек воды и сами по себе не ведут к ухудшению погоды и осадков не дают. Однако они часто бывают спутниками других, более мощных облаков.

Более плотные высоко-слоистые облака состоят из мелких снежинок и переохлажденных капелек. Из них могут выпадать осадки, но до земной поверхности в летний период осадки могут не доходить.

**Облака нижнего яруса** обычно плотные, не просвечивающие, темно-серого цвета. Слоисто-кучевые облака представляют собой неоднородный слой в виде волн, глыб, пластин. Слоистые облака лежат наиболее низко и имеют вид однородного светло-серого покрова, из них выпадает морось. Мощные слоисто-дождевые и кучево-дождевые облака (ливневые, грозовые) наблюдаются в ненастную погоду и сопровождаются осадками. Из них может выпасть и град.

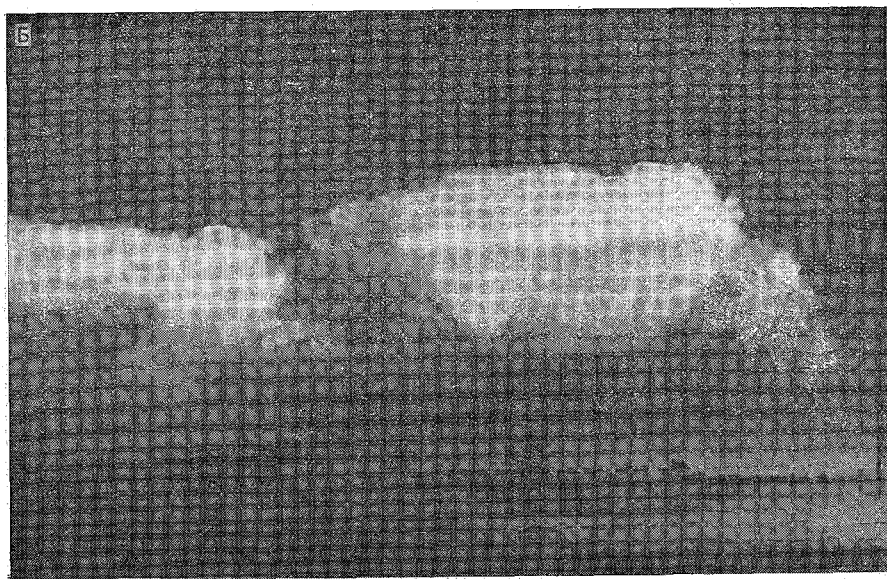
**Облака вертикального развития** образуются под действием восходящих потоков воздуха. **Кучевые** облака состоят из переохлажденных капель воды. В умеренных широтах осадки из кучевых облаков обычно не выпадают. Они служат признаком хорошей устойчивой погоды и появляются обычно днем; вечером растекаются, превращаясь в слоисто-кучевые, а к ночи исчезают совсем.

**Кучево-дождевые** облака являются результатом дальнейшего развития кучевых облаков. Из этих облаков в теплый период выпадают ливневые дожди, иногда очень сильные, вызывающие полегание посевов и смыв почвы со склонов. Из них может выпасть и град, повреждающий посевы и насаждения.

#### **Работа 14. Знакомство с классификацией облаков и определение их форм**

*Принадлежности:* Атлас облаков, Наставление гидрометеорологическим станциям и постам.

*Определение облачности*, т. е. степени покрытия неба облаками, производится визуально по десятибалльной шкале. При отсутствии облаков или незначительном их количестве (менее 0,5 балла) записывается 0 баллов; при полном покрытии неба облаками — 10 баллов, а если при этом имеются просветы, общая площадь ко-



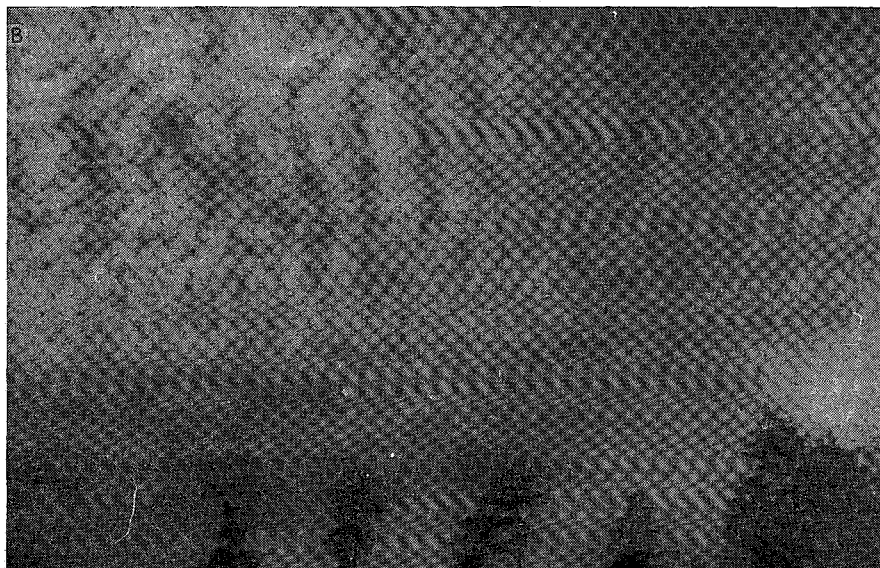


Рис. 8.1. Виды облаков: А — слоисто-кучевые чечевицеобразные, Б — кучево-дождевое льное, В — высоко-кучевые просвечивающие.

торых менее 0,5 балла, цифра 10 заключается в квадрат и записывается в виде  $\square$ . Один балл означает покрытие 0,1 части неба.

При определении количества облаков сначала устанавливают общую облачность, т. е. видимое количество облаков всех ярусов, а затем отдельно определяют количество облаков нижнего яруса. Запись проводится в виде дроби: в числителе указывается общая, а в знаменателе — нижняя облачность. Если количество облаков незначительно, но имеются отдельные облака, не составляющие 0,5 балла, то в графе «Количество облаков» ставится 0/0.

*Определение и запись форм облаков* проводят с помощью Атласа облаков и обозначают сокращенными латинскими названиями по принятой классификации. При заполнении графы «Форма облаков» сначала указывают облака, занимающие большую часть неба, затем переходят к другим облакам в порядке убывания их количества. Форма облаков отмечается в том случае, когда они по количеству составляют не менее 0,5 балла. Разрешается не определять формы облаков, находящихся ниже  $5-6^\circ$  над горизонтом, при этом облака с резко выраженными очертаниями обязательно отмечаются. При отсутствии облаков нижнего яруса в строке для записи форм облаков среднего яруса указывается количество этих облаков.

*Определение высоты* производится для облаков нижнего и среднего ярусов, если они расположены не выше 2500 м над уровнем станции. Обычно высота нижней границы облаков оценивается визуально. В гидрометслужбе для этой цели применяется

импульсный измеритель высоты облаков (ИВО), шары-пилоты и потолочные прожекторы.

Из основных форм облаков земледелец должен в первую очередь знать те, которые приносят влагу. Например, из слоистых облаков (*Stratus*) может выпадать морось, из слоисто-дождевых (*Nimbostratus*) — обильные, затяжные дожди, охватывающие большие территории. Кучево-дождевые облака (*Cumulonimbus*) приносят грозу с ливневыми осадками и градом. Из облаков верхнего яруса осадки не выпадают, они регулируют время солнечного сияния, температуру и другие элементы погоды (рис. 8.1 А, Б, В).

### Порядок выполнения работы

1. Изучить международную классификацию облаков. Выписать и запомнить четыре семейства и десять родов облаков, а также их латинское название и сокращенную запись.

2. По Атласу облаков и приведенному в данной главе описанию ознакомиться с основными формами и видами облаков.

3. Выписать формы облаков, дающие осадки, и указать вид осадков, характерный для каждой из этих форм (ливневые, обложные, морозящие).

4. Указать формы облаков, возникающие на теплом и холодном фронтах.

5. По данным фотографиям облаков определить их род (форму).

6. Определить и записать количество и формы облаков, которые имеются на небосводе во время наблюдений за облаками.

7. Сделать прогноз погоды на ближайшее время по состоянию и развитию облачности.

8. Результаты наблюдений за облачностью записать в табл. 8.1.

Таблица 8.1

### Определение облачности

Станция \_\_\_\_\_ Дата и время суток \_\_\_\_\_

Род облаков	Количество облаков, баллы	Основная форма облаков	Высота облаков, м

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

### Контрольные вопросы

1. Какие формы облаков относятся к облакам верхнего, среднего и нижнего ярусов?



2. Какие формы облаков относятся к облакам вертикального развития?

3. По рисункам Атласа облаков назвать форму облаков.

4. Из каких облаков следует ожидать выпадения осадков?

5. Какие облака являются признаком установления хорошей погоды?

# Глава 9. ОЦЕНКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

## 9.1. Виды неблагоприятных для сельского хозяйства стихийных метеорологических явлений

К неблагоприятным для сельского хозяйства стихийным гидрометеорологическим явлениям относятся заморозки, засухи и сушеи, пыльные бури, град, сильные ливни, длительные осадки и переувлажнение почвы в период уборки урожая, а в зимний период — сильные морозы, ледяные корки, бесснежье или высокий снежный покров и другие.

Неблагоприятные метеорологические явления отрицательно влияют на продуктивность сельскохозяйственного производства.

Для снижения ущерба, вызванного неблагоприятными явлениями погоды, необходимо знать причины их возникновения и повторяемость в различных районах страны.

## 9.2. Заморозки. Прогноз заморозков

*Заморозком* называется кратковременное понижение температуры воздуха или деятельной поверхности (поверхности почвы) до  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже на общем фоне положительных средних суточных температур.

По характеру процессов образования заморозков и погодных условий различают три типа заморозков: *адвективные*, *радиационные* и *адвективно-радиационные*.

По интенсивности заморозки делятся на *слабые* (от  $0$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ ), *средние* (от  $-3$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ ) и *сильные* (от  $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже).

Интенсивность заморозков зависит от рельефа местности. На больших ровных участках создаются средние условия заморозкоопасности, поскольку здесь не происходит ни притока, ни стока охлажденного воздуха. В замкнутых долинах продолжительность беззаморозкового периода резко сокращается, а в выпуклых формах рельефа (вершины холмов и верхние части склонов) возрастает по сравнению с открытым ровным местом (см. приложение 2). Интенсивность заморозков зависит и от местных условий хозяйства, расположения полей в севообороте, расстояния от крупных водоемов и лесных массивов.

В зависимости от времени наступления и интенсивности заморозки могут частично или существенно повредить сельскохозяйственные культуры, полностью уничтожить или уменьшить их урожай. Наиболее опасны поздние весенние и ранние осенние замо-

розки, когда их сроки совпадают с вегетационным периодом сельскохозяйственных культур. Поэтому информация об интенсивности заморозков, сроках прекращения их весной и возникновения осенью широко используется для оценки заморозкоопасности территорий, размещения теплолюбивых культур, а также выбора способов защиты или уменьшения ущерба от этого стихийного явления. В справочниках по агроклиматическим ресурсам области приведены средние и крайние даты прекращения заморозков весной, наступления их осенью, а также вероятность различных дат начала и конца заморозков.

Пользуясь этими данными, можно для каждого района установить оптимальные сроки сева теплолюбивых культур, высадки рассады огурцов, томатов и т. п.

Повреждение культурных растений заморозками зависит от их устойчивости к низким температурам. Температура, ниже которой растения повреждаются или гибнут, называется *критической*. Критическая температура зависит от вида и сорта растения, его состояния и фазы развития. В. Н. Степановым выделено пять групп полевых культур по их устойчивости к заморозкам на уровне растений в различные фазы развития при средней продолжительности заморозков 5—6 часов (см. приложение 2 а).

Для своевременной и успешной борьбы с заморозками необходимо их прогнозировать. Агрометеорологической службой разработаны способы предвычисления заморозков на ближайшую ночь по данным метеорологических наблюдений. Имеется ряд методов прогнозирования заморозков (методы Р. М. Меджитова, П. И. Брунова, А. И. Михалевского, А. Ф. Чудновского, М. Е. Берлянда, Г. З. Венцкевича и др.).

Так как современные методы предсказания заморозков не обеспечивают стопроцентную оправдываемость, в практике их дополняют *методом непрерывного наблюдения* за погодой. В период возможного наступления заморозков организуются ежечасные ночные наблюдения за состоянием атмосферы и метеорологическими условиями. В первую очередь наблюдают за облачностью, параметрами ветра, температурой и влажностью воздуха.

Результаты наблюдений заносятся в специальный график (рис. 9.1). На графике опасная для данной культуры температура выделяется красной линией. Значения температуры воздуха и точки росы ежечасно наносят на подготовленный график. Таким образом в течение ночи постепенно вычерчивается ход температуры и точка росы. Если кривая температуры воздуха резко опускается вниз, то опасность заморозка растет.

По графику хода точки росы можно сделать вывод о совпадении точки росы с температурой воздуха на ближайшие часы. При понижении ночной температуры до точки росы произойдет конденсация паров и при этом процессе будет выделяться скрытая теплота парообразования, которая замедлит или прекратит дальнейшее падение температуры воздуха. Если точка росы значительно выше 0 °С, то заморозка не будет.

На этом же графике на двух нижних горизонтальных линейках весьма полезно для наглядности наносить каждый час скорость и направление ветра, а также количество облаков среднего и нижнего яруса.

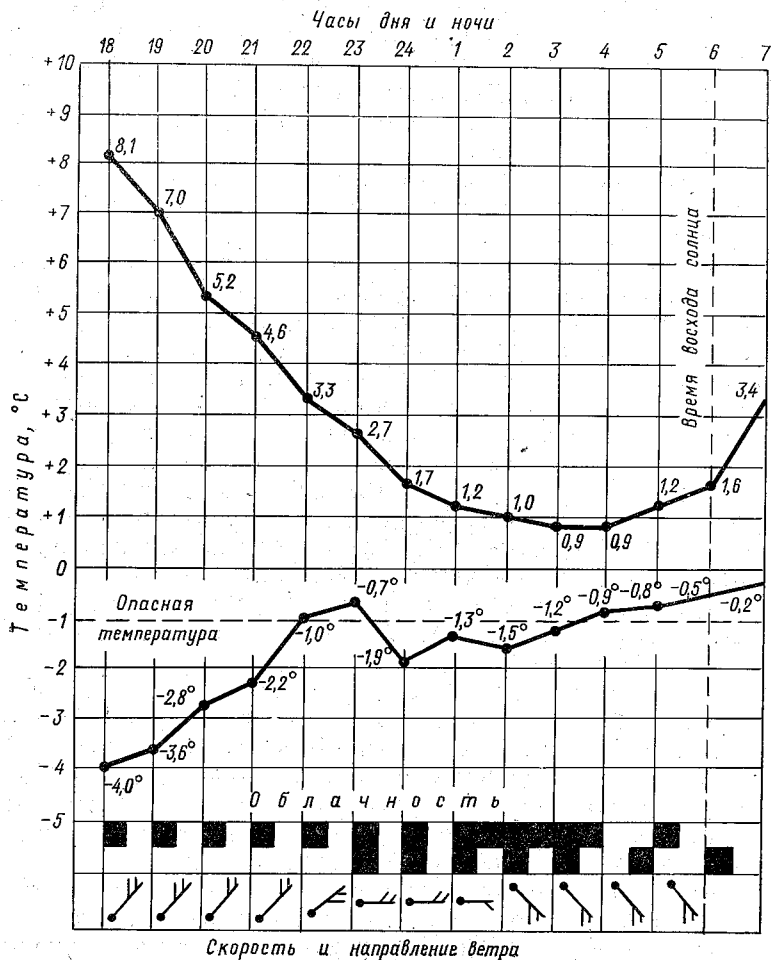


Рис. 9.1. Сигнальный график наблюдения за погодой.

Преимущество описанного метода непрерывного наблюдения за погодой состоит в том, что предсказание заморозка безошибочно дается за 2—3 ч до его наступления.

### Работа 15. Предсказание заморозков

*Приборы и принадлежности:* станционный психрометр, психрометрические таблицы, метеорологические сведения о состоянии погоды в данное время.

Вторжение холодных волн воздуха, обуславливающее адвективные и адвективно-радиационные заморозки на большой территории, в настоящее время хорошо прогнозируется синоптиками с заблаговременностью от 1 до 3 сут. На основании анализа синоптической карты местное бюро погоды передает по радио предупреждение о возможности наступления заморозка на обширной территории. Этот прогноз требуется уточнить с учетом местных условий. Уточнение производится на станциях и постах по разработанным методам.

1. *Метод Михалевского.* Для определения ожидаемого минимума температуры воздуха  $t_{\text{в}}$  Михалевский предложил формулу

$$t_{\text{в}} = t' - (t - t') C; \quad (9.1)$$

для определения минимальной температуры на поверхности почвы  $t_{\text{п}}$  формула имеет вид

$$t_{\text{п}} = t' - (t - t') 2C, \quad (9.2)$$

где  $t$  — температура воздуха по сухому термометру прибора психрометра в 13 ч;  $t'$  — температура воздуха по смоченному термометру психрометра в 13 ч;  $C$  — коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха, определяемый из табл. 9.1.

Таблица 9.1

Коэффициент  $C$  в формуле Михалевского 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

Прогноз заморозков, полученный днем, уточняют по облачности после 19 ч. Если после 19 ч облачность меньше 4 баллов, то ожидаемый ночной минимум температуры уменьшается на  $2^{\circ}\text{C}$ . При облачности от 4 до 7 баллов к полученной минимальной температуре поправок не вводят. При облачности 8—10 баллов минимум температуры повышается на  $2^{\circ}\text{C}$ .

Если в результате расчета по формулам Михалевского оказалось, что  $t_{\text{в}}$  меньше  $-2^{\circ}\text{C}$ , то надо ожидать заморозка; если  $t_{\text{в}}$  от  $-2$  до  $+2^{\circ}\text{C}$ , то заморозок вероятен, если  $t_{\text{в}} > 2^{\circ}\text{C}$ , то заморозок маловероятен.

Так как радиационные и адвективно-радиационные заморозки зависят от местных условий, то распространять на соседние территории полученные результаты можно лишь с учетом характера подстилающей поверхности. В табл. 9.2 дана зависимость интен-

сивности заморозков и вероятности их наступления от условий местоположения по сравнению с ровным открытым местом.

Таблица 9.2

**Изменение вероятности и интенсивности наступления заморозков в зависимости от местоположения (по И. А. Гольдберг)**

Местоположение	Изменение интенсивности заморозка, °С	Вероятность заморозков, %
Вершины и верхние части склонов	Около +2	—30
Долины в холмистой местности	—1,5... —2	+20
Котловины	—4... —5	+40
Долины в горах	—2	+30
Поляны	Около —2	+30
Города	+2... +3	—20

2. *Метод П. И. Броунова.* Метод Броунова связывает вероятность возникновения заморозка с температурой воздуха в вечерний срок наблюдения и с разностью между температурой воздуха в дневной и вечерний сроки. На графике по вертикали нанесены температуры воздуха, отсчитанные в 21 ч, по горизонтали — разность температур в 13 и 21 ч. На рис. 9.2 показана серия наклонных прямых, на конце каждой прямой поставлены числа, показывающие процент вероятности возникновения заморозков. Зная температуру воздуха в 21 ч и разность температур воздуха в 13 и 21 ч, по графику рис. 9.2 определяется вероятность заморозка. Чтобы уяснить пользование графиком, рассмотрим пример: пусть в 13 ч наблюдалась температура 14°C, а в 21 ч 8°C. Разность температур в 13 ч и в 21 ч будет равна  $14 - 8 = 6^\circ\text{C}$ . На вертикальной левой шкале находим температуру 8°C (в 21 ч) и через эту точку проводим горизонтальную линию. На нижней горизонтальной шкале находим температуру 6°C (разность температур в 13 и 21 ч) и через эту точку проводим вертикальную линию. Точка пересечения проведенных линий укажет вероятность возникновения заморозков (48%). Следует помнить, что возникновению заморозка способствуют с вечера ясное небо, слабый ветер или штиль, сухая, разрыхленная поверхность почвы, низкая влажность воздуха. Напротив, при облачности, сильном ветре, высокой влажности воздуха и поверхности почвы ночью заморозки обычно не наблюдаются.

*Порядок выполнения расчетов*

1. Изучить прогноз заморозков по способу Михалевского.
2. Определить относительную влажность воздуха по температуре сухого и смоченного термометров психрометра.

Для этой цели следует использовать Психрометрические таблицы. В табл. 2 находится колонка, над которой указана температура сухого термометра  $t$ , а по температуре смоченного термометра  $t'$  определяется значение относительной влажности воздуха  $f$ .

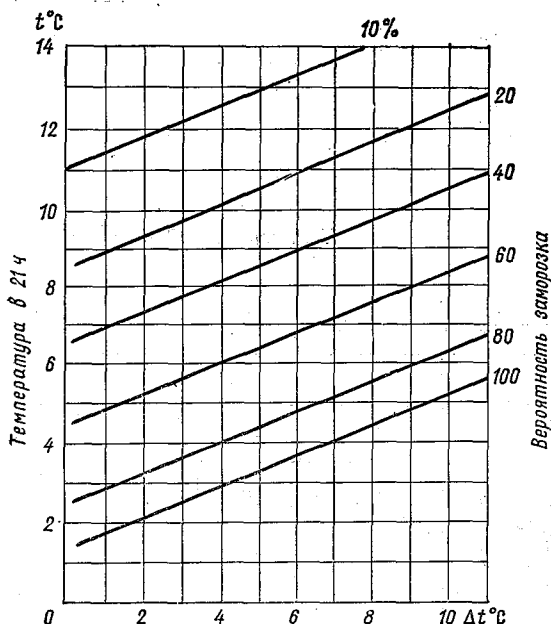


Рис. 9.2. График прогноза вероятности заморозков методом Броунова.

$\Delta t$  — разность температур воздуха, измеренных в 13 и 21 ч;  $t$  — температура воздуха в 21 ч.

3. По относительной влажности определить значение коэффициента  $C$  (табл. 9.1).

4. По показаниям психрометра на высоте 2 м около 13 ч вычислить ожидаемую минимальную температуру воздуха и почвы.

5. В полученные минимальные температуры внести поправку на облачность, наблюдаемую в 21 ч.

6. Результаты расчетов ожидаемых температур записать в табл. 9.3.

7. Определить изменение интенсивности ожидаемых заморозков для долин, расположенных в холмистой местности.

8. Какие сельскохозяйственные культуры, находящиеся в фазах всходов и цветения, могут частично погибнуть от ожидаемых заморозков?

Таблица 9.3

**Расчет ожидаемых минимальных температур воздуха и почвы**

Температура термометра, °С		Относительная влажность, %	Коэффициент С	Облачность, балл	Поправка на облачность, °С	Ожидаемая температура, °С	
сухого	смоченного, °С					$t_v$	$t_p$

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Таблица 9.4

**Варианты для расчетов заморозков по способу Михалевского**

Метеорологические элементы	Номер задачи				
	1	2	3	4	5
Температура сухого термометра в 13 ч, °С	10,2	8,6	9,0	11,2	8,8
Температура смоченного термометра в 13 ч, °С	6,0	4,1	4,2	5,4	5,2
Облачность в 21 ч, баллы	2	8	5	7	10

Таблица 9.5

**Варианты для определения вероятности заморозков по способу Броунова**

Метеорологические элементы	Номер задачи				
	1	2	3	4	5
Температура воздуха в 13 ч, °С	12,5	12	9,8	13	10,4
Температура воздуха в 21 ч, °С	5,5	6	4,8	8	6,4

*Контрольные вопросы*

1. Что называется заморозком? Назовите причины возникновения заморозков.
2. Как влияет рельеф местности на интенсивность и продолжительность заморозков?



3. На учете каких метеорологических элементов и при помощи каких приборов делается предсказание заморозков по методу Михалевского?

4. Изложите метод предсказания заморозков, предложенный Броуновым.

5. Для каких целей требуются сведения о заморозках?

### 9.3. Засухи и суховеи

Из неблагоприятных явлений засухи наносят наибольший ущерб сельскому хозяйству в нашей стране, так как около 70 % всех посевных площадей зерновых культур расположено в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения.

*Засуха* — это сложное метеорологическое явление, которое возникает при длительном отсутствии осадков преимущественно в сочетании с повышенной температурой и высокой испаряемостью, в результате чего иссякают запасы влаги в почве и создаются неблагоприятные условия для нормального развития растений, а урожай полевых культур снижается или гибнет.

Для оценки сухости вегетационного периода разработаны показатели, основанные на учете основных метеорологических элементов, входящих в определение засухи.

Многие исследователи за основу оценки интенсивности засухи берут снижение урожайности ведущей сельскохозяйственной культуры в районах, подвергшихся действию засухи. Так, по А. В. Процерову, снижение среднего урожая до 20 % — слабая засуха, от 20 до 50 % — средняя и более 50 % — сильная.

А. И. Руденко предлагает использовать следующие показатели: очень сильная засуха — осадки до 18 мм за период всходы — колосение яровой пшеницы и снижение урожая более 50 %; сильная засуха — осадки до 30—35 мм за аналогичный период и снижение урожая на 20—50 %; средняя засуха — осадки более 35 мм и снижение урожая до 20 %.

Характеристикой засух в определенной степени может также служить гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum r}{0,1 \sum t_{>10^{\circ}\text{C}}}, \quad (9.3)$$

где  $\sum r$  — сумма осадков за период с температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , выраженная в мм;  $\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$  — сумма температур воздуха за тот же период,  $^{\circ}\text{C}$ .

По значению ГТК можно охарактеризовать условия увлажнения за период активной вегетации растений (табл. 9.6).

Если  $\text{ГТК} > 1$ , то условия увлажнения в данной местности удовлетворительные.

Оценка засушливости по гидротермическому коэффициенту  
Селянинова для юго-восточных районов ЕЧР

Засуха	ГТК	Засуха	ГТК
Слабая	0,9—0,6	Сильная	0,5—0,4
Средняя	0,6—0,5	Очень сильная	<0,4

Более надежным показателем засушливых условий является показатель засушливости  $K$ , предложенный Н. В. Бова:

$$K = \frac{10(W+r)}{\sum t}, \quad (9.4)$$

где  $W$  — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной, мм;  $r$  — количество осадков, выпавших с весны до момента расчета (до наступления засухи), мм;  $\sum t$  — сумма температур от даты перехода температуры воздуха через  $0^\circ\text{C}$  весной до даты проведения расчета.

Началом засухи принято считать снижение значения  $K$  до 1,5 для юго-восточных районов европейской части России (ЕЧР).

При пользовании формулой (9.4) необходимо учитывать, что корневая система растений в первую половину вегетации развития недостаточно, поэтому запас влаги берут с коэффициентом 0,7.

В южных районах страны, где наиболее часты майские и июньские засухи и главная зерновая культура — озимая пшеница — созревает в конце июня — начале июля, для оценки общих засух (атмосферных и почвенных) Е. С. Улановой предложен коэффициент увлажнения  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{W_B + \sum r_{V-VI}}{0,01 \sum t_{V-VI}}, \quad (9.5)$$

где  $W_B$  — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы во время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$  весной, мм;  $\sum r_{V-VI}$  — сумма осадков за май—июнь, мм;  $\sum t_{V-VI}$  — сумма средних суточных температур воздуха за май—июнь,  $^\circ\text{C}$ .

Зависимость интенсивности засухи от коэффициента увлажнения  $K_1$  следующая:

$$\begin{aligned} K_1 < 15 & \text{ — очень сильная засуха,} \\ 15 \leq K_1 < 20 & \text{ — сильная засуха,} \\ 20 \leq K_1 < 25 & \text{ — средняя засуха.} \end{aligned}$$

Наибольший ущерб зерновому хозяйству нашей страны наносят весенне-летние засухи, охватывающие многие основные зерновые районы.

Дату наступления засушливого периода и действия засухи на растения можно определить по снижению запасов продуктивной влаги в пахотном слое (0—20 см) до критических значений для роста и развития растений. Если запасы влаги снизились до 10—19 мм, то начался засушливый период; при запасах продуктивной влаги меньше 10 мм начинается засуха.

Три сухие декады подряд в период кущения — молочная спелость зерновых культур означает засуху средней интенсивности, четыре-пять сухих декад — сильную засуху.

При засухе нередко возникает другое вредное явление — *суховей*.

Сложность и многообразие явления суховея обусловили большое разнообразие определений и количественных характеристик, даваемых ему метеорологами.

А. А. Каминский под суховеем понимает «такой ветер, при котором относительная влажность ни в один из сроков наблюдений (7, 13 и 21 ч) не поднимается выше 50 % при относительно высоком минимуме температуры воздуха».

М. С. Кулик указывает, что среди агрономов наиболее широко распространен следующий критерий суховея: относительная влажность в 13 ч  $< 30\%$ ; температура в тот же срок выше  $25^{\circ}\text{C}$  при скорости ветра 5 м/с по флюгеру.

При суховее испарение с поверхности почвы и транспирация растений особенно резко усиливаются. При сильном недостатке влаги в почве суховея вызывают резкое нарушение водного баланса растений.

Е. А. Цубербиллер сформулировано также определение и критерий суховея в следующем виде: суховея характеризуется ненормально большим для данной географической точки и времени года дефицитом влажности воздуха, превышающим среднее месячное его значение в 13 ч в 1,5 раза (слабые); в 2 раза (интенсивные) и в 3 раза (очень интенсивные суховея). Для характеристики суховея обычно используют дефицит влажности воздуха в 13 ч (табл. 9.7).

За начало суховея следует считать дефицит влажности воздуха больше 20 гПа.

Работы Е. А. Цубербиллер показали, что причиной повреждений от суховея является несоответствие между водоснабжением растений и испаряемостью, которое во время суховея переходит через некоторый допустимый для растений предел.

Е. А. Цубербиллер в качестве показателя повреждения использует «эвапориметрический коэффициент»  $K_э$ , который выражает отношение фактического (измеренного) испарения с естественной поверхности поля  $I_ф$  к испарению со «стандартной» водной поверхности  $I_{ст}$ .

Значение  $K_э = 1$  показывает, что испарение с поверхности поля равно испарению со стандартной водной поверхности, при  $K_э < 1$  процесс испарения с поля идет с большим или меньшим недобором воды.

Показатели повреждений (агрометеорологические критерии) зерновых культур  
суховеями (по Е. А. Цубербиллер)

Типы суховеев	Испаряемость мм/сут (нст.)	Дефицит влажности в будке в 13 ч при разной скорости ветра, мм		Запасы продуктивной влаги (мм) по слоям, при которых наблюдаются повреждения			Эвапоромет- рический коэффициент	Характеристика степени повреждения растений
		<10 м/с	≥10 м/с	0—20 см	0—50 см	0—100 см		
Слабые	3—5	15—24	10—14	≤20	≤50	≤80	0,5—0,4	Легкое снижение тур- гора
Средней интен- сивности	5—6	25—29	≥20	≤10	≤30	≤50	0,3	Значительное снижение тургора листьев, их скручивание, пожелтение, подсыхание; у незака- ленных растений возмо- жен небольшой захват зерна через 3—5 дней
Интенсивные	6—8	30—39	≥25	≤10	—	≤30	0,2—0,1	Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зерна че- рез 2—3 дня, у незака- ленных растений — через 1—2 дня
Очень интензив- ные	>8	≥40	≥35	0	—	≤30	0,2—0,1	Быстрое и сильное по- вреждение вегетативной массы, захват зерна че- рез 1—2 дня

С помощью показателя  $K_9$  установлены градации сухоевеев. Проведенные исследования показали, что повреждения отсутствуют, если значение  $K_9$  в дневные часы не опускается ниже 0,8, и повреждения бывают незначительны, если  $K_9$  эпизодически достигает значения 0,5.

Существуют и другие критерии, позволяющие агроному в зависимости от имеющихся в его распоряжении агрометеорологических данных оценить интенсивность сухоевеев.

Степень опасности засух и сухоевеев зависит в первую очередь от засухоустойчивости данного вида и сорта растений. Очень сильно действию засух и сухоевеев подвержены яровые зерновые, которые наиболее активно развиваются в весенне-летний засухоопасный период, когда запасы влаги в почве, как правило, уже невысокие. Более благоприятные условия складываются для озимых культур, так как они хорошо используют весенние запасы влаги в почве и раньше завершают свою вегетацию.

### **Работа 16. Расчет начала наступления засухи, сухоевеев и их интенсивности**

*Исходная информация:* агрометеорологический справочник области, декадные агрометеорологические сведения формы ТСХ-8.

Для установления даты начала засухи и территории, пораженной ею, используют разные методы, основанные на анализе метеорологических условий прошедшего периода.

Основной формой агрометеорологической информации является декадный агрометеорологический бюллетень (форма ТСХ-8), содержащий данные о средней суточной, максимальной и минимальной температурах воздуха за каждый день декады, о количестве осадков, влажности воздуха и почвы, состоянии сельскохозяйственных культур и скорости ветра.

Возникновение и развитие засухи можно определить по количеству осадков и сумме температур воздуха за какой-либо период вегетации растений. Для этой цели обычно используется гидротермический коэффициент Селянинова [формула (9.3)].

#### *1. Расчет степени засушливости по ГТК Селянинова*

Расчет проводится по метеорологическим данным ст. Мичуринск за 1972 г.

#### *Последовательность выполнения расчетов*

1. Получить метеорологическую информацию за весенне-летний период, собранную из декадных бюллетеней формы ТСХ-8.
2. Определить дату устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ .

ГТК Селянинова определяется для периода активной вегетации растений, когда среднесуточная температура воздуха переходит через  $10^{\circ}\text{C}$ .

Из данных формы ТСХ-8 определяем, что переход среднесуточной температуры воздуха на данной станции произошел 14 апреля.

3. Вычислить сумму среднесуточных температур воздуха  $\sum t$  за весенний период (с 14 апреля по 31 мая):

$$\sum t = 12,4 \cdot 7 + 10,2 \cdot 10 + 1,11 \cdot 10 + 15,6 \cdot 10 + 18,6 \cdot 11 = 660^{\circ}\text{C},$$

где 12,4, 10,2, 11,1, 15,6 и 18,6 — декадные температуры воздуха.

4. Определить сумму осадков  $\sum r$ , выпавших за тот же период:

$$\sum r = 0,1 + 16,2 + 1,2 + 10,7 + 9,9 = 38,1 \text{ мм},$$

где слагаемые данной суммы показывают количество осадков (мм) за декады рассматриваемого периода.

5. Вычислить значение ГТК за весенний период:

$$\text{ГТК} = \frac{38,1 \cdot 10}{660} = 0,58.$$

6. Определить интенсивность засухи за весенний период.

Оценка интенсивности засухи по значению ГТК делается по табл. 9.6.

В конце весны ГТК был равен 0,58, что соответствует средней засухе.

7. Вычислить ГТК за период весны и первый летний месяц (с 14 апреля по 30 июня):

$$\sum t = 660 + 19,3 \cdot 10 + 22,5 \cdot 10 + 24,6 \cdot 10 = 1324^{\circ}\text{C},$$

$$\sum r = 38,1 + 0,3 + 0,5 + 4,7 = 43,6 \text{ мм},$$

$$\text{ГТК} = \frac{43,6 \cdot 10}{1324} = 0,33.$$

8. Определить интенсивность засухи за весенне-летний период.

Согласно оценке засушливости по значению ГТК (см. табл. 9.6), к началу июля наблюдалась очень сильная засуха ( $0,33 < 0,4$ ).

9. Записать в табл. 9.8 из бюллетеней формы ТСХ-8 средние декадные температуры воздуха, среднее декадное количество осадков и результаты расчетов интенсивности засухи.

## II. Расчет числа дней по месяцам с атмосферной засухой и суховеями

Атмосферная засуха есть сухость воздуха, сравнительно большая для данного географического района и данного времени года, причиняющая повреждения сельскохозяйственным культурам при низком и среднем уровне агротехники. Суховеи — частный случай атмосферной засухи с сильным или продолжительным

Декадные температуры воздуха и количество осадков на ст. Мичуринск 1972 г.

Дата перехода температуры через 10 °С	Температура воздуха, °С (числитель) и количество осадков мм (знаменатель), по декадам							
	апрель		май			июнь		
	II	III	I	II	III	I	II	III
14 апреля	$\frac{12,4}{0,1}$	$\frac{10,2}{16,2}$	$\frac{11,1}{1,2}$	$\frac{15,6}{10,7}$	$\frac{18,6}{9,9}$	$\frac{19,3}{0,3}$	$\frac{22,5}{0,5}$	$\frac{24,6}{4,7}$

С 14 апреля по май ГТК = 0,58 (средняя засуха), с 14 апреля по июнь ГТК = 0,33 (очень сильная засуха).

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

ветром. Днями с атмосферной засухой считаются дни с определенными сочетаниями максимальной температуры воздуха и дефицита влажности в 13 ч.

Данные табл. 9.7 позволяют наглядно характеризовать интенсивность атмосферной засухи в зависимости от различного сочетания дефицита влажности воздуха и скорости ветра.

#### *Последовательность выполнения расчетов*

1. Получить метеорологические декадные бюллетени формы ТСХ-8 за период активной вегетации растений.

2. Вычислить дефицит упругости водяного пара воздуха для дней, в которые возможны суховеи.

#### *III. Расчет суховейных дней по максимальной температуре и влажности воздуха*

Количество суховейных дней за весенне-летний период можно определить по критерию М. С. Кулика. Для этого требуется следующая метеорологическая информация: относительная влажность воздуха  $f$  в 13 ч, температура воздуха в этот же срок  $T$ , скорость ветра  $v$  по флюгеру в 13 ч.

В декадных бюллетенях температура воздуха в 13 ч отсутствует. С небольшой погрешностью ее можно заменить максимальной температурой воздуха.

#### *Порядок выполнения расчета (ст. Мичуринск, 1972 г.)*

1. Получить метеорологическую информацию (декадные бюллетени формы ТСХ-8) за весенне-летний период.

2. Составить табл. 9.9 для подсчета суховейных дней.

Расчет суховейных дней по критерию М. С. Кулика.  
Ст. Мичуринск, Тамбовская обл., 1972 г.

Показатели суховея	Количество суховейных дней по декадам месяца											
	май			июнь			июль			август		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
$T > 25^{\circ}\text{C}$ , $f < 30\%$ , $v \leq 5\text{ м/с}$	—	1	3	1	3	3	3	5	5	9	9	8

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

3. Определить количество суховейных дней за каждую декаду периода. Для этого показатели метеорологических величин ( $T$ ,  $f$ ,  $v$ ) каждого дня декад следует сравнить с критериями суховеев.

Результаты определения дней с суховеем записать в табл. 9.9.

Определение дефицита влажности воздуха для 13 ч проводится в следующем порядке:

1) по высокой максимальной температуре воздуха  $T$ , взятой из декадного бюллетеня, определяется давление насыщенного водяного пара  $E$  воздуха;

2) по величине  $E$  и минимальной относительной влажности воздуха вычисляется упругость водяного пара  $e$  ( $e = Ef/100$ );

3) по разности величин  $E$  и  $e$  определяется дефицит упругости ( $d = E - e$ ).

4. Сравнить полученные дефициты влажности с учетом скорости ветра с критериями суховеев, указанных в табл. 9.7, и дать характеристику суховейных дней.

5. Подсчитать количество дней с атмосферной засухой и суховеем за весенне-летний период и дать характеристику степени повреждения растений.

*Пример.* 23 июня  $T = 30,9^{\circ}\text{C}$ ,  $f = 40\%$ ,  $v = 5\text{ м/с}$ . Найти  $d$  и дать характеристику суховея. Решение: 1) по значению  $T = 30,9^{\circ}\text{C}$  из психрометрических таблиц определим  $E = 44,7\text{ гПа}$ ; 2) по значениям  $E$  и  $f$  найдем  $e$ :  $e = 44,7 \times 40 : 100 = 17,9\text{ гПа}$ ; 3)  $d = 44,7 - 17,9 = 27,8\text{ гПа}$ ; 4) значение  $d = 27,8\text{ гПа}$  соответствует суховею средней интенсивности (табл. 9.7).

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение засухи и суховея.
2. При каких условиях погоды возникает засуха?
3. По каким метеорологическим показателям можно оценить интенсивность засухи?
4. Какие метеорологические условия вызывают суховея?
5. Каковы меры борьбы с засухами и суховеями?





Потребность основных культур в тепле ( $^{\circ}\text{C}$ ) за вегетационный период

Культура	Скороспелость сортов	Сумма активных температур $>10^{\circ}\text{C}$
Яровая пшеница (мягкая)	Раннеспелая	1200—1400
	Среднеспелая	1300—1500
	Позднеспелая	1450—1700
Яровая пшеница (твердая)	Раннеспелая	1400—1500
	Среднеспелая	1500—1600
	Позднеспелая	1600—1700
Ячмень	Наиболее раннеспелый	960—1150
	Среднеспелый	1200—1300
	Позднеспелый	1300—1450
Овес	Наиболее раннеспелый	1000—1250
	Среднеспелый	1250—1400
	Позднеспелый	1400—1600
Просо	Наиболее раннеспелое	1409—1550
	Среднеспелое	1600—1750
	Позднеспелое	1800—1950
Гречиха	Раннеспелая	1200
	Среднеспелая	1300
	Позднеспелая	1400
Кукуруза (сев — созревание)	Наиболее раннеспелая	1100
	Раннеспелая	2200
	Среднеспелая	2400—2500
	Среднепоздняя	2700
Подсолнечник	Позднеспелая	2900
	Среднеспелый	2000
	Позднеспелый	2300
Картофель	Ранний и среднеспелый	1200—1800

Значения температуры  $10^{\circ}\text{C}$  и ниже в расчет не входят. Сумма температур за декады или месяцы получают путем умножения средней декадной или месячной температуры на число дней декады или месяца.

Подсчет средних многолетних сумм активных температур и фическим способом производят по графику годового хода температур воздуха. Значения температур берутся по оси ординат, декады или месяцы — по оси абсцисс (рис. 10.2). Значения температур с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$  с середины декад или на пятнадцатое число каждого месяца.

Подсчет сумм средних многолетних значений производят с средней месячной или средней декадной температурой, с графиком годового хода температур. Суммы температур за декады или месяцы получают путем умножения средней декадной или месячной температуры, снятой с графика (гистограмм) на число дней декады или месяца.

За неполные декады или месяцы (в начале и конце жутка) сумма температур подсчитывается по площади графика годового хода температур. Площади трапеции

ются ординатами температур на дату ее перехода через  $10^{\circ}\text{C}$  и на последний день декады или месяца весной и, наоборот, от первого дня декады или месяца до даты перехода температуры воздуха через этот предел осенью. Число дней неполной декады или месяца на оси ординат графика служит высотой трапеции.

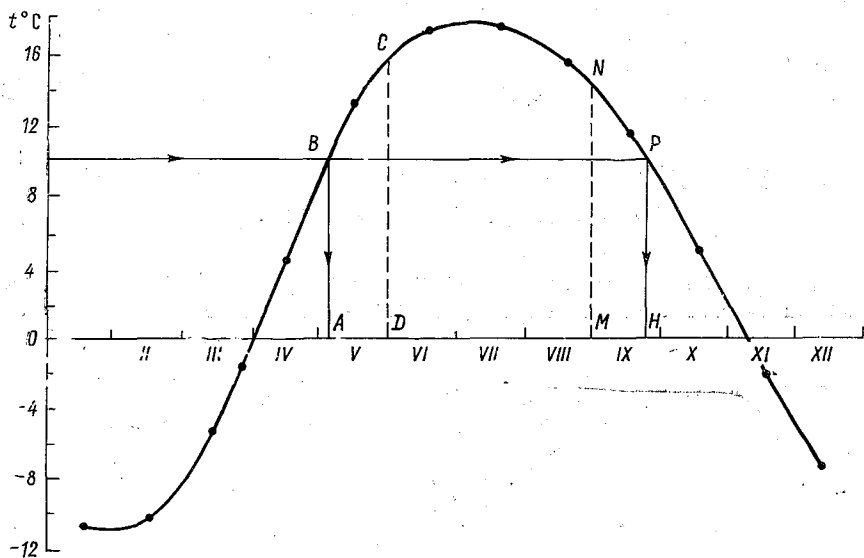


Рис. 10.2. Годовой ход температуры воздуха на ст. Мичуринск.

Сумма активных температур за неполные месяцы рассчитывается по формуле

$$\sum t = \frac{10,0 + t}{2} n, \quad (10.1)$$

где  $\sum t$  — сумма температур за неполный месяц в начале вегетационного периода,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $10,0$  — температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на дату перехода температуры через  $10^{\circ}\text{C}$ ;  $t$  — температура на последний день месяца;  $n$  — период (число дней), за который подсчитывается сумма.

*Пример расчета суммы температур по формуле (10.1).* Переход температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$  весной по графику рис. 10.2 приходится на 8 мая (точка A), а на 31 мая (точка D) температура воздуха, снятая с графика, составила  $16^{\circ}\text{C}$  (точка C).

Продолжительность периода с температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$  (точки A и D) составляет 23 дня ( $31 - 8 = 23$ ). Сумма температур в мае за период с температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$ , рассчитанная по формуле (10.1), будет равна  $229^{\circ}\text{C}$ :

$$\sum t = \frac{10,0 + 16,0}{2} \cdot 23 = 229^{\circ}\text{C}.$$

Итоговая сумма активных температур получается путем суммирования температур за все периоды от даты перехода температуры через  $10^{\circ}\text{C}$  весной до даты перехода температуры через этот предел осенью.

Сумму активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  за вегетационный период можно вычислить с помощью графика годового хода температур. Для этой цели следует применить графический метод. В площади  $ABCNPH$  (см. рис. 10.2) содержится сумма активных температур. Площадь рассматриваемой фигуры разбивается на простейшие геометрические многоугольники. Площадь каждой правильной фигуры определяется по формулам геометрии. Суммируя площади этих фигур и умножая на число градусо-дней, содержащихся в  $1\text{ см}^2$ , получим сумму активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

#### 10.4. Расчет обеспеченности вегетационного периода суммами температур

Средние многолетние суммы температур воздуха, наблюдаемые за вегетационный период, имеют обеспеченность, равную

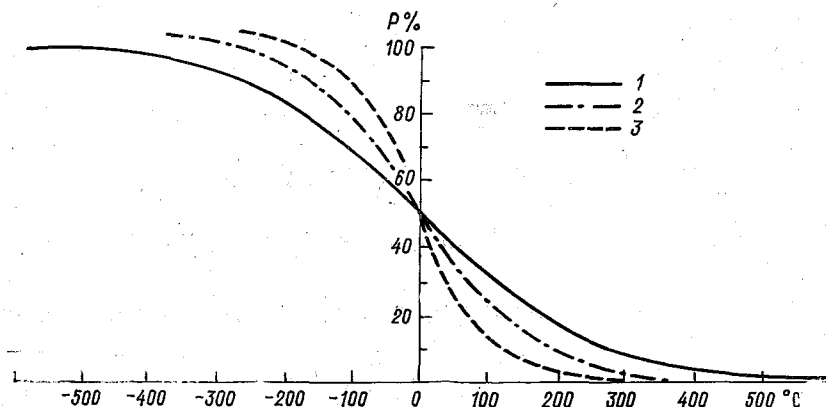


Рис. 10.3. Кривые обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

1 — для неустойчивого типа климата, 2 — для устойчивого типа климата, 3 — для особо устойчивого типа климата.

50%. Примерно половина всех взятых лет будет иметь сумму температур меньше средней многолетней, а вторая половина — больше, т. е. климатические суммы по данной метеостанции будут повторяться через год или 5 раз в 10 лет.

Для успешного возделывания сельскохозяйственных культур требуется знать обеспеченность суммами температур, необходимыми для завершения развития той или иной культуры.

В отдельные годы сумма активных температур может отличаться от многолетней на несколько сотен градусов. В связи с этим при оценке термических ресурсов территории наряду со средними значениями необходимо иметь данные о вероятности и обеспеченности сумм температур в отдельные годы. На рис. 10.3

приводится график, полученный Ф. Ф. Давитая, для определения обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ . По оси абсцисс отложены отклонения сумм температур от многолетней средней, по оси ординат — обеспеченность  $P$  (%).

На графике представлены три кривые: 1 — для неустойчивого типа климата (Европейская часть России, Западная Сибирь и Средняя Азия); 2 — для устойчивого (центральная часть Сибири), 3 — для особо устойчивого типа климата (Восточная Сибирь и Дальний Восток).

По рис. 10.3 можно определить теплообеспеченность какой-либо культуры в данном районе. Для этого надо знать потребность культуры в тепле и климатическую сумму температур для данной территории.

Допустим, мы знаем, что для позднеспелого сорта подсолнечника за период вегетации требуется  $2300^{\circ}\text{C}$  активных температур. Определить, как часто эта культура будет созревать в районе, где средняя температура равна  $2400^{\circ}\text{C}$ .

Естественно, что данная культура созревает столько раз, сколько будут повторяться суммы выше  $2300^{\circ}\text{C}$  в этом районе при оптимальном увлажнении. Чтобы ответить на поставленный вопрос, следует найти разность  $2300 - 2400 = -100^{\circ}\text{C}$  и от полученного отклонения  $-100^{\circ}\text{C}$  на оси абсцисс рис. 10.3 провести прямую, параллельную ординате. По точке пересечения этой прямой с кривой обеспеченности данного типа климата находим обеспеченность в процентах. В нашем примере обеспеченность равна 65 %, т. е. подсолнечник в этом районе будет вызревать примерно 7 раз в 10 лет.

## 10.5. Расчет накопления сумм температур выше $10^{\circ}\text{C}$ в течение вегетационного периода

*Сумма активных температур* — показатель, характеризующий количество тепла и выражающийся суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растений.

Сумма температур, рассчитанная в целом за вегетационный период, не дает представления о динамике накопления сумм температур в течение периода, тогда как для решения ряда задач необходимо знать, к какому сроку может накопиться необходимая сумма температур. Для этого Ф. Ф. Давитая предложил номограмму (рис. 10.4), при помощи которой можно определить накопление той или иной суммы температур на определенную дату. По оси абсцисс отложены дни вегетационного периода и накопленная сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  к той или иной дате; по оси ординат — средние многолетние суммы температур за вегетационный период.

Зная среднюю многолетнюю сумму активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  для данного района, по номограмме можно определить дату накопления определенной суммы активных температур.

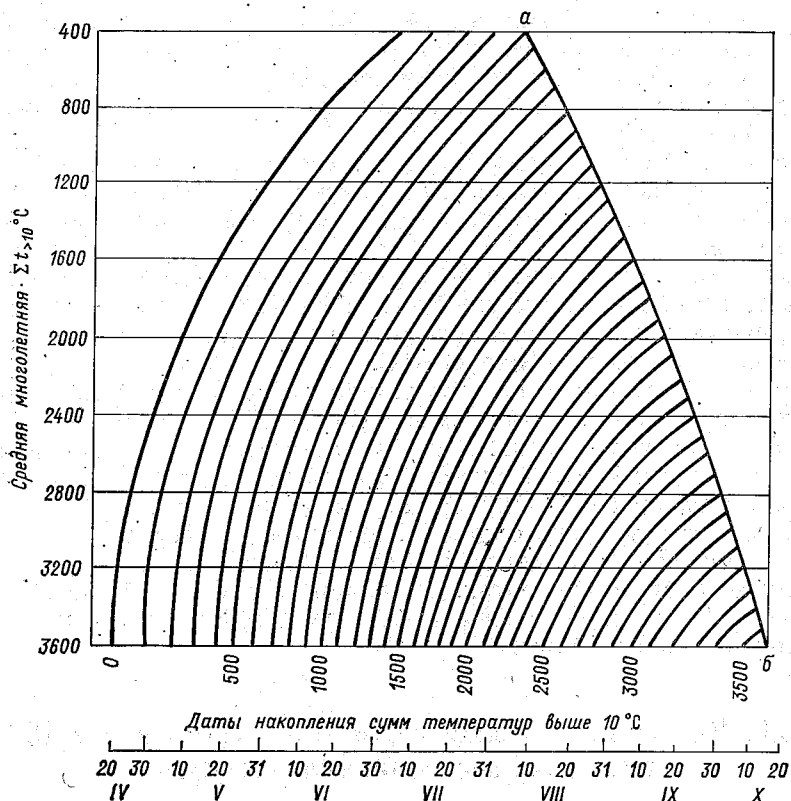


Рис. 10.4. Даты накопления сумм температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  в зависимости от средней многолетней суммы (номограмма Ф. Ф. Давитая).

*Пример.* Средняя многолетняя сумма активных температур в Астрахани составляет  $3500^{\circ}\text{C}$ . Определить для этой станции дату накопления сумм температур  $1000^{\circ}\text{C}$ . Для решения этой задачи на оси  $OY$  находим сумму температур  $3500^{\circ}\text{C}$ , затем проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой накопления суммы  $1000^{\circ}\text{C}$  и, опуская перпендикуляр из этой точки на ось  $OX$ , определяем искомую дату. Для Астрахани эта дата — 16 июня.

По номограмме Давитая можно рассчитать даты наступления различных фаз развития сельскохозяйственных культур для любых географических районов.

*Пример.* Допустим, для наступления восковой спелости позднеспелого сорта проса требуется сумма активных температур  $1900^{\circ}\text{C}$ . В Мичуринске средняя многолетняя сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  равна  $2460^{\circ}\text{C}$ . Для определения даты созревания проса по номограмме рис. 10.4 на оси ординат находим сумму  $2460^{\circ}\text{C}$ , от которой проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой

суммы температур 1900 °С. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось абсцисс и определяем дату наступления фазы восковой спелости проса — 15 августа.

## Работа 17. Расчет термических ресурсов вегетационного периода и теплообеспеченности растений

*Необходимая метеорологическая информация и принадлежности:* Агроклиматические ресурсы области, агроклиматический справочник области, декадные метеорологические бюллетени (формы ТСХ-8), климатическая карта страны, чертежные принадлежности, миллиметровая бумага.

Расчет термических ресурсов какого-либо района проводят по средним декадным или месячным температурам воздуха графическим способом. Для этой цели строится график годового хода температуры. Важное значение при вычерчивании графика имеет выбор масштаба значений по осям. Наиболее удобным масштабом является: по оси абсцисс в одном месяце содержится 30 мм, по оси ординат в 1 °С содержится 10 мм. Такой масштаб позволяет строить график годового хода температуры с точностью до десятых долей градуса (по оси  $OY$ ) и определять сроки наступления тех или иных температур с точностью до одних суток.

Температура каждого месяца берется в середине месяца (на 15-е число). Соединив точки температур за каждый месяц ломаной линией, получим график хода температуры за теплый период (рис. 10.5).

По графику многолетних температур какого-либо района определяются даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5, 10 и 15 °С.

Для подсчета сумм температур выше какого угодно уровня используется один из двух описанных выше методов.

Сравнивая полученную сумму активных температур, наблюдаемых в данном районе, с суммой активных температур, необходимых для вызревания культурных растений (см. табл. 10.1), можно с 50 %-ной обеспеченностью указать культуры, возделываемые в районе.

В практике сельскохозяйственного производства принято считать, что 80—90 %-ная обеспеченность растений теплом является хорошей, так как производственный риск невызревания этих культурных растений в данном случае невелик (10—20 %).

Если культура в данном районе обеспечена теплом не более чем на 50 %, ее возделывание не имеет смысла. Оценка обеспеченности растений теплом проводится по графику Ф. Ф. Давитая (см. рис. 10.3).

Для полной характеристики теплообеспеченности некоторых растений показатель суммы температур недостаточен. В иные годы необходимая сумма активных температур накапливается,

а растения данной культуры полностью не вызревают, так как в период вегетации температура воздуха не поднималась выше необходимого для созревания данной культуры. В этом случае, кроме суммы активных температур, следует знать среднюю температуру воздуха самого теплого месяца. По этому показателю определяется возможность произрастания теплолюбивых растений. Разные температуры этого летнего месяца определяют совершенно разную их сельскохозяйственную возможность.

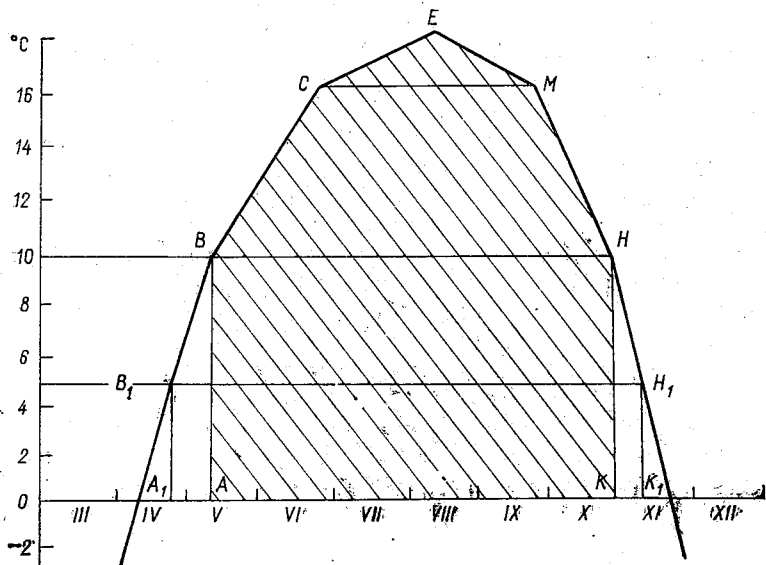


Рис. 10.5. График хода температуры воздуха за теплый период на ст. Мичуринск.

Весенние и осенние заморозки могут в значительной мере лимитировать использование имеющихся ресурсов тепла. Поэтому в расчетах необходимо учитывать как среднюю длительность безморозного периода, так и различную ее обеспеченность.

Продолжительностью безморозного периода принято считать число дней между последней датой снижения температуры до  $0^{\circ}\text{C}$  весной и первой датой наступления такой же температуры осенью. В агроклиматических справочниках приводятся средние и крайние даты прекращения заморозков весной и наступления их осенью, а также средняя продолжительность безморозного периода. Однако эти характеристики для сельскохозяйственного производства явно недостаточны. Для производства представляет интерес знание повторяемости опасных заморозков в данном ряду лет.



## Последовательность выполнения работы

1. Из агроклиматического справочника выписать в таблицу средние месячные температуры воздуха по заданной станции.

Зимние месяцы с низкой отрицательной температурой воздуха заносить в таблицу не следует, так как они не входят в период вегетации.

2. Начертить график годового хода температуры воздуха за теплый период.

На рис. 10.5 показан график температур, построенный для ст. Мичуринск. Средние месячные температуры воздуха берутся по оси ординат на 15-е число.

3. Определить даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С.

Даты перехода температуры воздуха через 0 °С показывают на начало весны и конец осени.

Для определения дат перехода температуры воздуха через 5 °С следует на оси ординат взять точку с температурой 5,0 °С и через эту точку провести прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с линией графика хода температуры в точках  $B_1$  и  $H_1$  (рис. 10.5). Из полученных точек пересечения следует опустить перпендикуляры на ось абсцисс, в результате чего получим точки  $A_1$  и  $K_1$ , показывающие даты перехода температуры воздуха через 5 °С весной и осенью.

Точно так же определяются даты перехода температуры воздуха через 10 °С (рис. 10.5).

Весенний переход температуры воздуха через 10 °С определяет дату начала активной вегетации, осенний переход — дату окончания этого периода.

Устойчивый переход температуры воздуха через 15 °С характеризует начало и окончание летнего периода.

4. Вычислить продолжительность периодов с температурой воздуха выше 0, 5 и 10 °С.

По точкам пересечения графика годового хода температуры воздуха с осью абсцисс определяются даты начала и конца теплого периода. Согласно выбранному масштабу, по длине отрезка легко определить период с температурой выше 0 °С, выраженный в днях.

Отрезок  $A_1K_1$  (рис. 10.5) содержит продолжительность периода в днях с температурой воздуха выше 5 °С.

Период с температурой воздуха выше 10 °С определяется отрезком  $AK$ .

5. Вычислить сумму активных температур воздуха выше 10 °С.

Подсчет суммы активных температур можно произвести двумя методами: путем суммирования средних суточных температур воздуха за весь период активной вегетации (от точки  $A$  до точки  $K$  включительно) и определения площади многоугольника, заключающей сумму активных температур (см. рис. 10.5). Для подсчета сумм активных температур используем второй метод.

Площадь фигуры *АВСЕМНК* содержит суммы температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ . Разобьем этот многоугольник на прямоугольник *АВНК*, трапецию *ВСМН* и треугольник *СЕМ*.

Для определения площади простейших фигур необходимо определить линейный масштаб по оси абсцисс и оси ординат. В нашем примере (рис. 10.5) по оси абсцисс в 1 см содержится 1 месяц (30 дней), по оси ординат — в 0,4 см содержится  $1^{\circ}\text{C}$  (1 см соответствует  $2,5^{\circ}\text{C}$ ). Площадь 1 см<sup>2</sup> на рис. 10.5 соответствует  $2,5 \cdot 30 = 75$  градусо-дней.

Суммируя площади простейших фигур, получим площадь искомого многоугольника *АВСЕМНК*.

Для перевода площади в сумму активных температур следует общую сумму, выраженную в квадратных сантиметрах, умножить на 75 (для рис. 10.5).

Полученная сумма активных температур воздуха имеет 50 %-ную обеспеченность.

6. Пересчитать полученную сумму активных температур на 80 %-ную обеспеченность.

Для этого расчета следует воспользоваться графиком обеспеченности суммой температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  (рис. 10.3). Вначале определяется тип климата данного района, затем для 80 %-ной обеспеченности с графика снимается отклонение отрицательной суммы активных температур ( $-200^{\circ}\text{C}$ ). К многолетней сумме активных температур данного района прибавляется найденное отклонение. Для Мичуринска сумма активных температур с 80 %-ной обеспеченностью составит  $2460 - 200 = 2260^{\circ}\text{C}$ .

7. Перечислить сельскохозяйственные культуры, возделываемые в данном районе при 80 %-ной обеспеченности суммами активных температур.

Для решения этого вопроса следует сравнить потребность культур в тепле (табл. 10.1) с полученной суммой активных температур при 80 %-ной обеспеченности (для Мичуринска эта сумма равна  $2260^{\circ}\text{C}$ ). Все культуры, которые требуют сумму температур не больше, чем сумма данного района, пересчитанная на 80 %-ную обеспеченность, могут вызреть в данном районе 8—9 раз из 10 лет.

8. Определить теплообеспеченность какой-либо культуры в данном географическом районе.

Для этой цели необходимо знать потребность данной культуры в тепле, выраженную суммой активных температур, и климатическую сумму активных температур с оправдываемостью 50 % для данного района.

Ход решения этого вопроса следующий: 1) определяется разность сумм температур между потребностью культуры и суммой температур данного района; 2) полученную разность температур взять по оси абсцисс рис. 10.3 и из точки этих температур восстановить перпендикуляр до пересечения с кривой обеспеченности; 3) из точки кривой восстановить перпендикуляр к оси обеспечен-

ности. Искомая обеспеченность (%) снимается с точки пересечения перпендикуляра с осью ординат.

*Пример.* Для вызревания раннеспелой кукурузы на зерно требуется 2200 °С активных температур. Определить обеспеченность вызревания этой культуры в Мичуринске, где сумма активных температур равна 2460 °С.

Решаем задачу в следующей последовательности:

1). Определим разность температур:  $2200 - 2460 = -260$  °С.

2). Используя график рис. 10.3, определим обеспеченность теплом для полного вызревания кукурузы. В данном случае обеспеченность получается 90 %. Это значит, что из 10 лет возделывания раннеспелой кукурузы на зерно один год можно не получить полноценного зерна в районе Мичуринска.

9. Определить дату полного вызревания культуры в данном районе.

Для выполнения этого задания называют культуру, возделываемую в рассматриваемом районе, и определяют дату ее вызревания по графику Давитая (см. рис. 10.4).

10. Записать исходные и полученные данные в табл. 10.2.

Таблица 10.2

**Агроклиматические показатели термических ресурсов по станции**

Дата перехода температуры воздуха через			Продолжительность периода (дни) с температурой выше			Сумма температур воздуха выше 10 °С с обеспеченностью	
0 °С	5 °С	10 °С	0 °С	5 °С	10 °С	50 %	80 %

*Подпись преподавателя*

**Контрольные вопросы**

1. Дать определение климата и назвать основные климатообразующие факторы.

2. Какими методами оцениваются термические ресурсы вегетационного периода?

3. Почему сумма многолетних активных температур воздуха, наблюдаемая в каком-либо районе, пересчитывается на 80 %-ную обеспеченность?

4. Для какой цели и как определяют теплообеспеченность сельскохозяйственных культур?

5. Как определяются сроки созревания культур в данном районе?

**10.6. Оценка условий увлажнения вегетационного периода**

Для оценки условий увлажнения используется количество осадков за вегетационный период и распределение их во времени. Количество атмосферных осадков по территории оценивается сред-

ними многолетними суммами за месяц и представляется в виде графика, называемого *гистограммой* (рис. 10.6). Гистограмма состоит из смежных прямоугольников, основаниями которых являются месяцы, а высотами — суммы осадков.

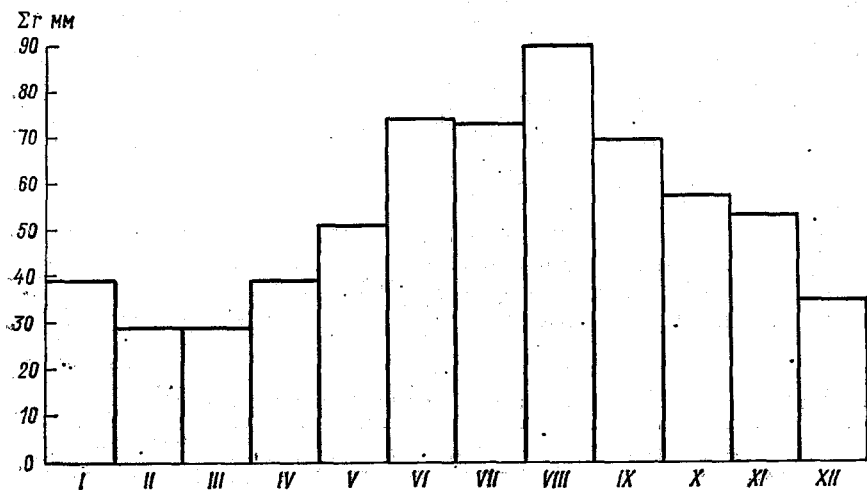


Рис. 10.6. График годового хода осадков на ст. Пушкин.

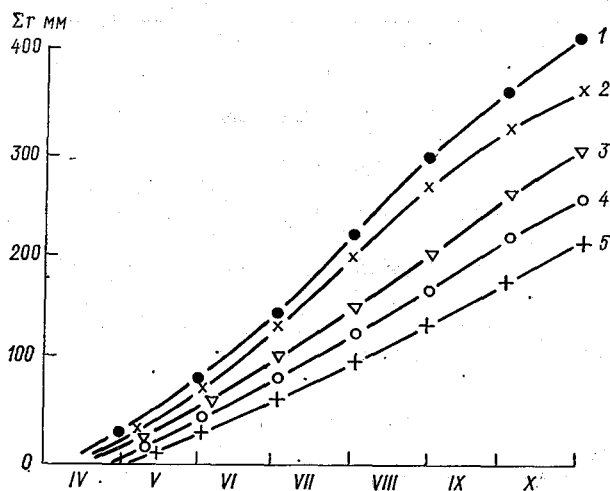


Рис. 10.7. Сумма осадков нарастающим итогом по станциям.

1 — Вытегра, 2 — Белозёрск, 3 — Нижняя Пеша, 4 — Оксиво, 5 — Шойна.

При агроклиматическом обслуживании часто используются данные о сумме осадков нарастающим итогом за холодный (1 ноября — 31 марта) и теплый (1 апреля — 31 октября) периоды. График представляется в виде интегральной кривой (рис. 10.7).

С него можно снять даты, на которые накопится сумма осадков, равная 50, 100, 150 мм и т. д.

Среднее многолетнее количество осадков дает представление о 50 %-ной обеспеченности территории осадками. В действительности их выпадает ежегодно больше или меньше этого количества. Поэтому для правильного суждения о влагообеспеченности культур необходим расчет осадков различной обеспеченности. Для этого можно воспользоваться графиком А. Н. Лебедева (рис. 10.8). На графике по оси ординат нанесены средние многолетние годовые суммы осадков, по оси абсцисс — возможные суммы осадков

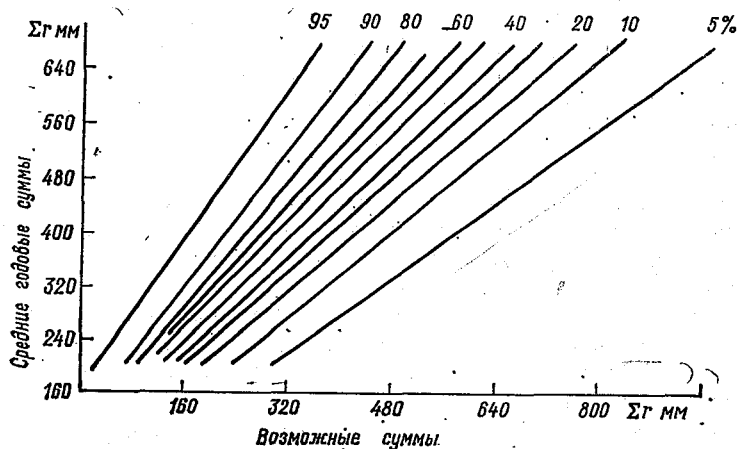


Рис. 10.8. График для расчета сумм осадков различной обеспеченности.

в отдельные годы, в поле графика — линии различной обеспеченности.

Роль осадков в обеспечении растений влагой зависит не только от их количества, но и от расхода на испарение. Поэтому в агрометеорологии для оценки условий увлажнения территории используют отношение количества осадков к испаряемости (гидротермический коэффициент Селянинова). Гидротермический коэффициент [формула (8.3)] применяется для оценки условий увлажнения в теплый период, когда средняя суточная температура воздуха превышает  $10^{\circ}\text{C}$ .

В практике сельского хозяйства оценку условий увлажнения проводят и по другим показателям.

Д. И. Шашко в качестве показателя увлажнения  $K$  предложил отношение суммы осадков за год  $\sum r$  к сумме дефицитов насыщения водяного пара  $\sum d$  за этот период, выраженной в миллиметрах:

$$K = \sum r / \sum d. \quad (10.2)$$

В формуле (10.2)  $\sum d$  косвенно характеризует испаряемость.

Оценка условий увлажнения по значению ГТК и коэффициенту увлажнения Шашко приведена в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Оценка условий увлажнения по значению ГТК Селянинова и коэффициенту увлажнения Шашко

Зона увлажнения	ГТК	К	Зона увлажнения	ГТК	К
Избыточно влажная	>1,6	>0,60	Засушливая	1,0—0,7	0,35—0,25
Влажная	1,6—1,3	0,60—0,45	Очень засушливая	0,7—0,4	0,25—0,15
Слабо засушливая	1,3—1,0	0,45—0,35	Сухая	<0,4	0,15—0,10

Оценку влагообеспеченности растений можно провести по параметрам почвенной влаги. Принято считать, что оптимальной для растения является влажность почвы в интервале 70—100 % полевой влагоемкости.

Периоды с влажностью, равной или большей полевой влагоемкости, считаются избыточно увлажненными. Избыточное увлажнение нарушает газообмен корнеобитаемых слоев почвы и резко ослабляет их аэрацию.

В практике сельского хозяйства водное питание можно охарактеризовать с помощью запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы. Так, А. М. Алпатьев предложил коэффициент влагообеспеченности определять по эмпирической формуле

$$K = \frac{W_1 - W_2 + \sum r}{0,65 \sum d}, \quad (10.3)$$

где  $W_1$  — запасы продуктивной влаги на начало вегетации, мм;  $W_2$  — запасы влаги на конец вегетации данной культуры, мм;  $\sum r$  — количество осадков за период вегетации, мм;  $\sum d$  — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за период вегетации, мм. Знаменатель формулы (10.3) соответствует значению испаряемости (мм).

Для озимой пшеницы Е. С. Уланова предложила коэффициент увлажнения рассчитывать по формуле (9.5).

При значениях  $K_1 < 30$  начинается засушливый период.

Оценка влагообеспеченности сахарной свеклы и подсолнечника проводится по формуле, предложенной Л. С. Кельчевской и Ю. С. Мельником:

$$K = \frac{0,63 \sum r_1 + \sum r_2}{\sum t_{>10^\circ\text{C}}}, \quad (10.4)$$

где  $\Sigma r_1$  — сумма осадков вне вегетационного периода, мм;  $\Sigma r_2$  — сумма осадков за период вегетации данной культуры, мм;  $\Sigma t_{>10^\circ\text{C}}$  — сумма температур за период активной вегетации,  $^\circ\text{C}$ .

Для характеристики обеспеченности озимых зерновых культур влагой в Гидрометцентре составлены карты средних многолетних запасов продуктивной влаги в пахотном (0—20 см) и в метровом слое почвы в декаду средних оптимальных сроков сева (рис. 10.9 и 10.10).

Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы в большинстве районов бывшего СССР хорошие (более 30 мм). Однако во многих районах южной половины Украины, в Волгоградской области и в восточной половине Ростовской области — плохие (менее 10 мм).

Более подробно сведения о запасах продуктивной влаги в почве приведены в Атласе запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на Европейской части РФ, составленном сотрудниками ВНИИСХМ.

### Работа 18. Оценка условий увлажнения вегетационного периода

*Исходная информация и принадлежности:* сведения об агроклиматических ресурсах области, агроклиматический справочник области, декадные агрометеорологические сведения формы ТСХ-8, климатическая карта Российской Федерации, Атлас запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на Европейской части СССР, миллиметровая бумага и чертежные принадлежности.

Для характеристики условий увлажнения используют количество осадков за вегетационный период и запасы продуктивной влаги в почве. Из-за недостатка данных о запасах продуктивной влаги в почве на практике для оценки условий увлажнения широко используют соотношение прихода (количество осадков) и расхода влаги (испаряемость). Наибольшее распространение получили агроклиматические показатели, приведенные в разделе 10.6.

Состояние посевов сельскохозяйственных культур и их урожайность в значительной степени зависят от количества продуктивной влаги.

Степень соответствия потребности растений в почвенной влаге для формирования высокой продуктивности имеющимся запасам продуктивной влаги в почве называют *влагообеспеченностью растений*.

Сопоставление фактических запасов продуктивной влаги в почве с потребностью растений в ней позволяет дать количественную оценку влагообеспеченности посевов.

Е. С. Уланова установила различные градации запасов влаги и дала их оценку в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы (табл. 10.4).

Количество выпадающих осадков, выраженное в миллиметрах слоя воды, является наиболее широко используемым показателем обеспеченности влагой. Оценку сложившихся агрометеорологиче-

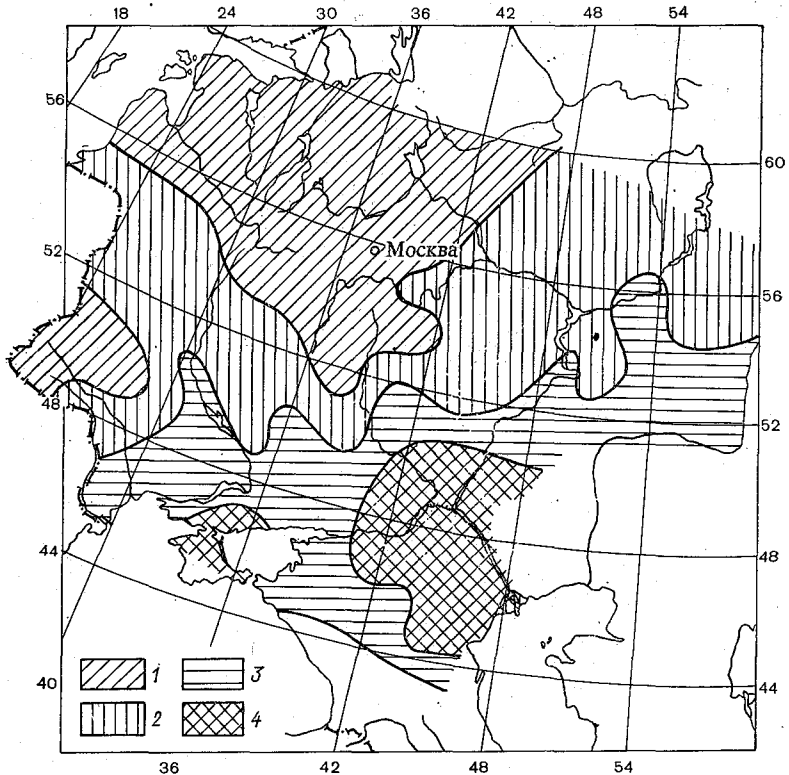


Рис. 10.9. Средние многолетние запасы продуктивной влаги под озимыми при посеве по непаровым предшественникам в слое почвы 0—20 см в декаду средних оптимальных сроков сева.

Запасы влаги, мм: 1 — более 30; 2 — 21—30; 3 — 10—20; 4 — менее 10.

Таблица 10.4

**Показатели оценки запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы**

Период вегетации	Запасы продуктивной влаги, мм			
	хорошие	удовлетво- рительные	недостаточ- ные	плохие
Возобновление вегетации	150—200	120—150	100—120	<100
Выход в трубку	140—180	100—140	80—100	<80
Колошение	80—140	60—80	40—60	<40
Налив зерна	80—100	40—80	30—40	<25



ских условий увлажнения можно провести методом сравнения количества выпавших осадков в текущем вегетационном периоде с многолетними средними показателями осадков, наблюдаемыми

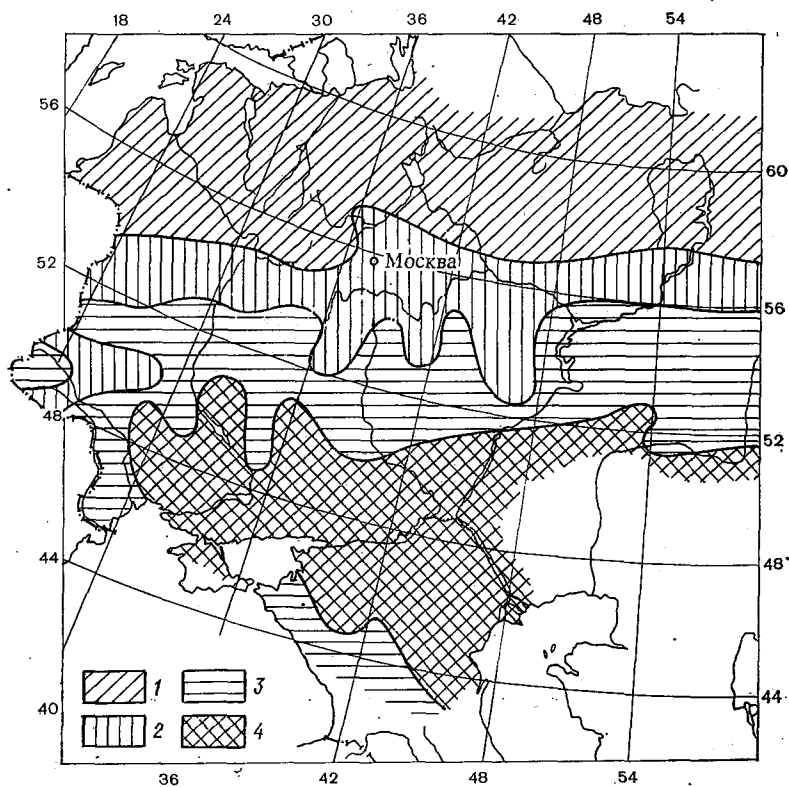


Рис. 10.10. Средние многолетние запасы продуктивной влаги под озимыми при посеве по непаровым предшественникам в метровом слое почвы в декаду средних оптимальных сроков сева.

Запасы влаги, мм: 1 — более 160; 2 — 121—160; 3 — 81—120; 4 — менее 80.

в данном районе. Первую величину можно получить из метеорологических декадных бюллетеней формы ТСХ-8, вторую — из агроклиматического справочника области. Путем сравнения количества осадков определяют отклонения выпавших осадков от многолетней нормы (разность между данными текущего года и многолетней нормой). Если полученная разность имеет знак плюс, значит, в текущем году осадков выпало больше нормы, отрицательная разность — меньше нормы и т. д.

Сравнение метеорологических данных очень удобно производить по графикам. График количества осадков за текущий год накладывается на график многолетнего среднего количества осадков.

При анализе условий увлажнения учитывают гидротермический коэффициент, запасы продуктивной влаги в почве, влажность воздуха и повторяемость суховеев.

В целом анализ сложившихся агрометеорологических условий должен содержать оценку степени благоприятности их в текущем году для различных сельскохозяйственных культур (озимых, ранних и поздних яровых и др.) и рекомендации по применению различных агротехнических мероприятий, направленных на максимальное использование благоприятных и уменьшение влияния неблагоприятных метеорологических факторов.

#### *Порядок выполнения расчетов*

##### *I. Оценка условий увлажнения вегетационного периода по осадкам*

1. Начертить графики хода осадков за вегетационный период.

По климатическим средним значениям месячных осадков начертить гистограмму. Месячные нормы осадков по данной станции берутся из агроклиматического справочника.

На этом же графике строится гистограмма месячных осадков, выпавших в этом году за вегетационный период. При вычерчивании второго графика используют метеорологические декадные бюллетени формы ТСХ-8.

2. Сравнить месячные осадки текущего года с климатическими месячными нормами осадков.

3. Определить обеспеченность осадками за вегетационный период текущего года.

Для расчета обеспеченности следует подсчитать суммы осадков за май—сентябрь по декадным метеорологическим бюллетеням ТСХ-8 текущего года и по средним многолетним величинам. Полученные суммы осадков следует наложить на график А. Н. Лебедева (см. рис. 10.8). Точка пересечения перпендикуляров, восстановленных из соответствующих сумм, покажет обеспеченность осадками вегетационного периода текущего года. Если обеспеченность осадками будет выше 50 %, то вегетационный период характеризуется достаточно высокой влагообеспеченностью растений.

##### *II. Оценка условий увлажнения по ГТК Селянинова*

1. Определить многолетнюю среднюю дату устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ .

Этот агроклиматический показатель определяется из агроклиматического справочника.

2. Найти дату устойчивого перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$  в текущем году для данной станции.

Искомая дата определяется из декадных бюллетеней формы ТСХ-8.

3. Вычислить многолетние и текущие суммы активных температур от даты перехода температуры через  $10^{\circ}\text{C}$  до 1 июля.

4. Вычислить суммы осадков за тот же период.

Для подсчета многолетних и текущих сумм осадков и температур используются агроклиматический справочник и декадные бюллетени формы ТСХ-8.

5. Подсчитать ГТК за указанный выше период за текущий год и по средним многолетним величинам. Провести сравнение полученных значений ГТК.

6. Вычислить ГТК за периоды май—июль и июль—август; дать оценку их увлажнения.

Для этого следует использовать критерии ГТК, приведенные в табл. 10.3.

7. Записать в табл. 10.5 исходные данные и результаты вычислений.

Таблица 10.5

Агроклиматическая информация для расчета ГТК Селянинова

Станция _____	Год _____					
	Сумма осадков (числитель, мм), сумма температур (знаменатель, °С) за периоды			ГТК за периоды		
Дата перехода температуры через 10 °С	май—июнь	май—июль	июль—август	май—июнь	май—июль	июль—август

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

III. Оценка условий увлажнения вегетационного периода по запасам продуктивной влаги

1. Определить запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в период возобновления вегетации озимых культур.

Запасы продуктивной влаги на весну текущего года определяются на метеорологических станциях и записываются в декадные бюллетени ТСХ-8. Многолетние запасы продуктивной влаги по полям можно получить из агроклиматического справочника.

2. Дать оценку весенних запасов продуктивной влаги.

Для этого следует весенние запасы влаги сравнить с многолетними.

Качественная характеристика запасов влаги определяется путем их сравнения с грациями продуктивной влаги, приведенными в табл. 10.4.

3. Вычислить коэффициент увлажнения озимой пшеницы.

Для этой цели следует использовать климатическую и метеорологическую информацию и провести расчет по формуле (9.5).

4. Проанализировать увлажнение почвы по коэффициенту увлажнения  $K_1$ .

Если  $K_1 \geq 30$ , то период определяется как незасушливый, если  $K_1 < 30$  — засушливый.

### *Контрольные вопросы*

1. Что называют влагообеспеченностью растений?
2. Почему годовая сумма осадков не может полно характеризовать увлажнение территории?
3. Что такое ГТК и как по его значению оценивается степень увлажнения?
4. Какие метеорологические показатели используются для определения влагообеспеченности подсолнечника и сахарной свеклы?
5. Как подсчитывается коэффициент увлажнения полей, занятых озимой пшеницей?

### **Работа 19. Рекомендации по учету агрометеорологических данных для решения отдельных задач в земледелии**

В сельском хозяйстве почти все мероприятия требуют учета агроклиматических и агрометеорологических условий. Исследования агроклиматических и агрометеорологических условий позволяют установить, насколько метеорологические, климатические и гидрологические факторы того или иного географического района отвечают требованиям различных сельскохозяйственных культур, а также определить возможность наступления вредных для сельского хозяйства явлений погоды (засух, суховеев, заморозков, пыльных бурь и др.).

Использование агрометеорологических данных позволяет на научной основе решать задачи гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. Такое решение достигается тем, что в агрометеорологии изучены и изучаются закономерности влияния характеристик метеорологического режима на рост, развитие и продуктивность растений, на эффективность технологических приемов, видов и доз удобрений, ядохимикатов и т. п.

Учет текущих значений метеорологических величин позволяет провести агрометеорологическое обоснование технологических приемов выращивания сельскохозяйственных культур. Например, при уточнении плановых сроков, способов, объема работ и других показателей следует учитывать отклонение текущих значений метеорологических величин от средних многолетних. Ориентировочный перечень информации, необходимый для такого уточнения, приведен в приложении 7.

Существует несколько простых способов использования агрометинформации при решении вопросов управления технологией сельскохозяйственного производства:

— простое сопоставление текущих значений метеорологических величин с их средними многолетними или оптимальными показателями;

— сравнение текущих данных путем расчета показателя существенности отклонений;

— сопоставление сложившихся условий и потребностей растений с помощью коэффициента соответствия.

Простое сопоставление текущих и средних многолетних или оптимальных значений метеорологических величин производится путем вычисления разностей между ними. По знаку и отклонению оценивается необходимость качественных изменений в технологии производства.

Расчет показателя отклонений  $K_0$  характеристик агрометеорологического режима от их средних многолетних значений (при нормальном законе распределения) производится по формуле

$$K_0 = (X - \bar{X}) : \sigma, \quad (10.5)$$

где  $X$  — текущее значение агрометеорологической величины,  $\bar{X}$  — ее среднее многолетнее значение,  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение.

Условия близки к обычным в тех случаях, когда значение  $K_0$  находится в пределах от 0 до 1. Если же оно оказывается между 1 и 2, то условия значительно отличаются от средних многолетних. Тогда в технологии производства сельскохозяйственной продукции необходимо принимать специальные меры, ослабляющие неблагоприятное воздействие данного метеорологического элемента или более полно использующие благоприятные условия. Если показатель  $K_0 > 2$ , то условия приближаются к редким. Тогда технология производства сельскохозяйственной продукции не может оставаться традиционной.

Показатель  $K_0$  позволяет количественно оценить существенность отклонений агрометеорологических элементов от нормы. Сопоставление сведений о метеорологическом режиме с потребностью сельскохозяйственных культур полезно проводить с помощью коэффициента соответствия  $C$ .

Коэффициент соответствия  $C$  условий потребностям растений на основе закона оптимума представляет собой отношение метеорологической величины  $X$  к оптимальному значению этой величины  $X_0$  для данного развития:

$$C = X : X_0. \quad (10.6)$$

Этот коэффициент вычисляется как по текущим, так и по средним многолетним величинам.

Для использования агрометеорологических данных с помощью указанных и других способов необходимо, как правило, располагать агроклиматическими справочниками и агрометеорологическими ежегодниками, а также сведениями о текущей погоде (агроклиматические бюллетени формы ТСХ-8).

Приведем примеры использования агрометеорологических данных для решения отдельных задач локального характера по агроклиматическому обоснованию некоторых элементов системы земледелия.

**Задача 1.** Определение возможности выращивания раннеспелой кукурузы на зерно в районе Мичуринска.

**Способ решения.** Для решения этой задачи следует провести сравнение агроклиматических ресурсов в данной местности с потребностями кукурузы. Сравнение величин делается путем вычисления коэффициента соответствия или определения климатической вероятности.

**Решение.** 1. Из справочника «Агроклиматические ресурсы Тамбовской области» определим суммы температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ : средняя 2400, наименьшая 1800 и наибольшая 2900  $^{\circ}\text{C}$ .

2. Из табл. 10.1 определим потребность в тепле для созревания раннеспелой кукурузы. Согласно табл. 10.1, для созревания растений необходима сумма температур 2200  $^{\circ}\text{C}$ .

3. Вычислить коэффициент соответствия сумм температур района для вызревания кукурузы, используя формулу (10.6):  
для среднего значения

$$C_{\Sigma t} = \frac{2400}{2200} = 1,09,$$

для наибольшего значения

$$C_{\Sigma t} = \frac{2900}{2200} = 1,32,$$

для наименьшего значения

$$C_{\Sigma t} = \frac{1800}{2200} = 0,82.$$

**Вывод.** По вычисленным данным показателя  $C_{\Sigma t}$  созревание раннеспелой кукурузы в Мичуринске обеспечено теплом почти всегда, поскольку для среднего и наибольшего значений сумм активных температур коэффициент соответствия  $C_{\Sigma t} > 1$ , а для наименьшего —  $C_{\Sigma t} < 1$ . В холодное лето вызревание кукурузы на зерно может не произойти.

**Задача 2.** Оценка полноты дозы удобрений в зависимости от обеспеченности посевов влагой.

**Способ решения.** Обоснование ежегодных поправок при распределении азотных удобрений на условия погоды будущего вегетационного периода проводится с учетом: 1) выноса минеральных веществ из почвы отчуждаемой массой сельскохозяйственных культур текущего года; 2) количества осадков (уровня увлажнения) осенне-зимнего периода; 3) прогноза основных агрометеорологических условий весенне-летнего периода.

В первом приближении по количеству осадков за осенне-зимний период можно уже ранней весной определить поправки к дозам азотных удобрений под озимые и яровые культуры.

А. П. Федосеевым построены графики (рис. 10.11) для расчета суммарных доз азотных удобрений (кг/га действующего вещества), вносимых либо при весенней вспашке, либо при предпосев-

ной обработке почвы под ранние яровые культуры (яровая пшеница, ячмень, овес).

При значительном недостатке осадков применение азотных удобрений не эффективно.

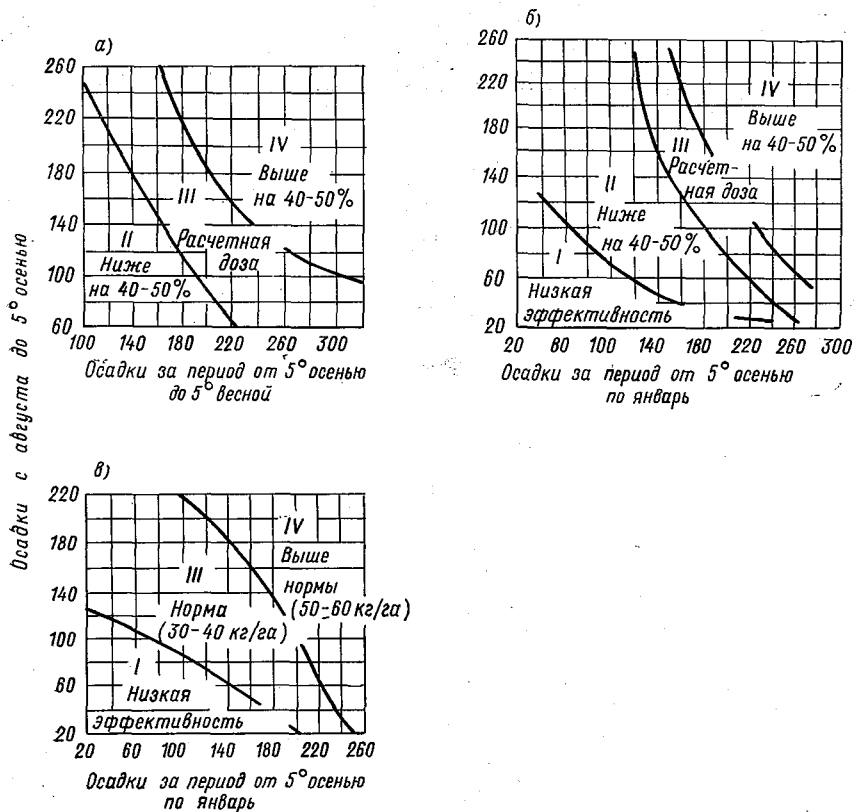


Рис. 10.11. Поправка к установленным дозам азотных удобрений (по фону  $P_{40-80}K_{0-80}$ ) под ранние яровые колосовые культуры в зависимости от количества осадков за осенне-зимний период года по занятым парам и непаровым предшественникам (без орошения).

а) нечерноземная зона Российской Федерации, б) черноземная зона, в) засушливая зона юго-востока России.

Решение 1. Определить сумму осадков на ст. Мичуринск за период от перехода температуры через  $5^{\circ}C$  осенью по январь.

Устойчивый переход температуры воздуха через  $5^{\circ}C$  осенью 1988 г. произошел 20 октября. Из агрометеорологических бюллетеней формы ТСХ-8 за 1988 г. и январь 1989 г. определим сумму осадков. В данном случае сумма равна 138 мм.

2. Вычислим сумму осадков с августа до перехода температуры через  $5^{\circ}C$  осенью. Из декадных бюллетеней ст. Мичуринск за 1988 г. сумма осадков будет равна 125 мм.

3. Определить поправку к установленным дозам азотных удобрений под ранние яровые колосовые культуры.

Для этого используем график рис. 10.11. По оси абсцисс берутся осадки за период от перехода температуры через  $5^{\circ}\text{C}$  осенью по январь; по оси ординат — осадки с августа до перехода температуры через  $5^{\circ}\text{C}$  осенью. В данном случае для района Мичуринска (черноземная зона) в зависимости от условий увлажнения 1988 г. дозы азотных удобрений следует снизить на 40—50 %.



# Глава 11. УЧЕТ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

## 11.1. Методы определения оптимальных сроков сева озимых зерновых культур

Рост озимых зерновых культур проходит в течение двух циклов, разграниченных между собой в умеренных и северных широтах длительным периодом (от трех до семи месяцев) вынужденного покоя, вызванного неблагоприятными условиями для нормального роста растений. Первый цикл роста начинается осенью, с момента прорастания семян, и заканчивается фазой кущения при прекращении осенней вегетации растений. Второй цикл роста озимых начинается весной, с момента возобновления вегетации, и заканчивается плодоношением и отмиранием растений.

Состояние озимых зерновых культур и степень их кустистости к периоду прекращения вегетации осенью во многом определяют их перезимовку и будущий урожай.

К периоду завершения осенней вегетации растения озимых должны пройти первые пять фаз развития и хорошо подготовиться к зимним условиям.

Для нормального развития растений в осенний период важное значение имеют сроки сева. Оптимальными сроками сева считаются такие, при которых у растений ко времени прекращения вегетации наблюдается 3—5 побегов, предельно ранними — при которых озимые заканчивают вегетацию с кустистостью 6 побегов и более, и предельно поздними — при которых озимые ко времени прекращения вегетации остаются в начале кущения.

Основными агрометеорологическими факторами, от которых зависят рост и развитие озимых культур в осенний период, являются температура воздуха и увлажнение почвы. В условиях достаточного увлажнения почвы главное, определяющее значение для роста и развития озимых имеет температура.

В гидрометслужбе при расчетах оптимальных сроков посева используют показатели суммы эффективных температур А. А. Шиголева. Им было установлено, что при достаточном увлажнении почвы для образования шести побегов озимым необходима сумма эффективных температур воздуха (выше 5°C), равная 300°C, для образования трех побегов — 200°C и для начала кущения озимой пшеницы — 134°C, озимой ржи — 119°C. Эти показатели прошли большую производственную проверку и по ним были рассчитаны средние многолетние оптимальные сроки сева озимых культур (рис. 11.1).

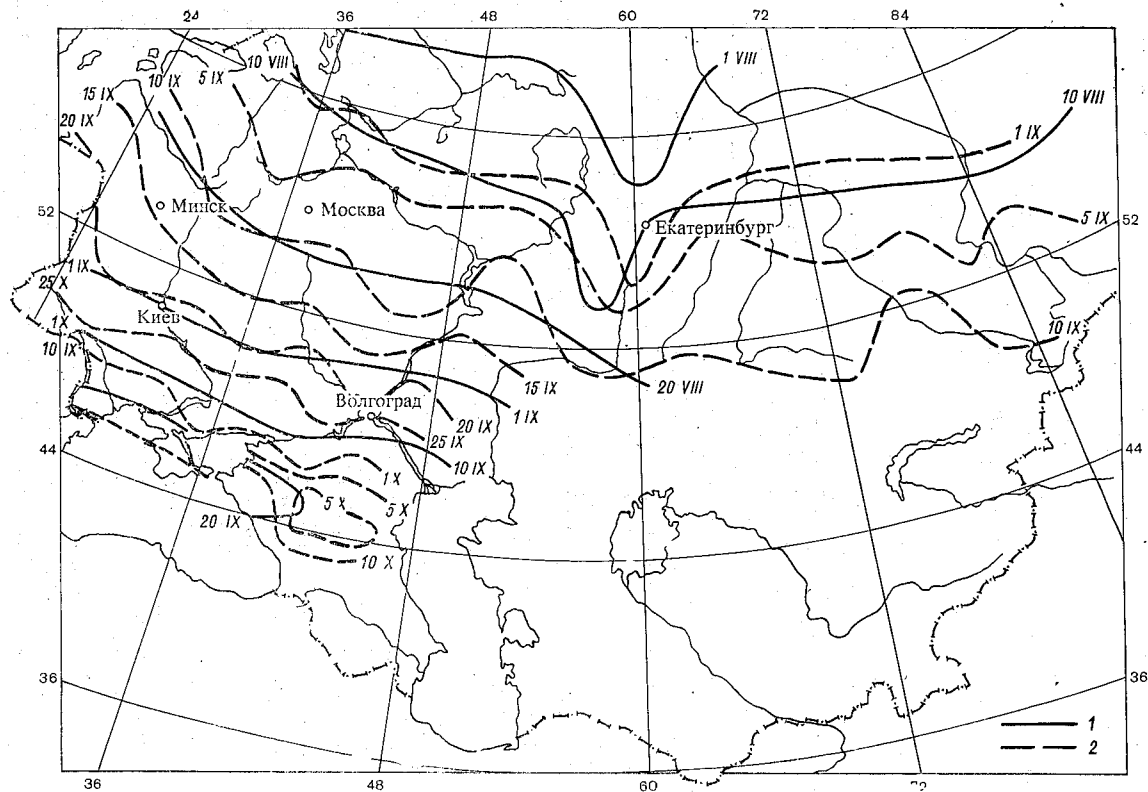


Рис. 11.1. Средние многолетние оптимальные и предельно поздние сроки сева озимых культур (по А. А. Шиголеву).

1 — оптимальные, 2 — предельно поздние,

Активная вегетация зерновых культур осенью прекращается в южных районах страны при переходе средней суточной температуры воздуха через 3°C, а в более северных районах — через 5°C (рис. 11.2).

## 11.2. Влияние агрометеорологических условий на продолжительность межфазных периодов растений

Растение в процессе своего роста находится под воздействием физических свойств среды. Влияние метеорологических факторов на рост и формирование продуктивности изучается методом параллельных наблюдений.

Скорость развития сельскохозяйственных культур зависит от сортовых особенностей растений и хода основных метеорологических факторов.

Продолжительность межфазного периода  $n$  зависит от температуры окружающей среды и ее можно выразить уравнением

$$n = \frac{A}{\bar{t} - B}. \quad (11.1)$$

Здесь  $A$  — сумма эффективных температур, необходимая для прохождения межфазного периода растения;  $\bar{t}$  — среднесуточная температура воздуха за период, °C;  $B$  — свойственное данному растению значение нижнего предела начальных температур воздуха (для зерновых и плодовых культур  $B = 5^\circ\text{C}$ ).

В табл. 11.1 приведены суммы эффективных температур по разным межфазным периодам зерновых культур.

Зависимость продолжительности периода  $Y$  сев — всходы озимой пшеницы от средней температуры воздуха  $t$  за межфазный период (по Н. Н. Яковлеву) выражается формулой

$$Y = 112/t. \quad (11.2)$$

Таблица 11.1

Суммы эффективных температур, необходимые для наступления основных фаз развития зерновых культур при оптимальном увлажнении (по А. А. Шиголеву)

Культура	Сумма эффективных температур (°C) по межфазным периодам				
	посев— всходы	всходы— кущение	кущение—вы- ход в трубку	выход в трубку—ко- лошение	колошение— восковая спелость
Озимая рожь	52	119		183	544
Озимая пшеница	67	134		330	490
Яровая пшеница	67	134	43	330—400	450—540
Овес	67	134	43	378	420—466
Ячмень	67	134	43	330	388—410



Расчет продолжительности периода  $Y$  всходы — кушение для озимых по средней температуре воздуха  $t$  производится по формуле, предложенной Е. С. Улановой.

$$Y = 575/t^{1,58}. \quad (11.3)$$

Отклонение увлажнения почвы от оптимального приводит к задержке развития растений в период вегетативного роста. В период репродукции увеличение запасов продуктивной влаги в почве удлиняет межфазные периоды.

Зависимость продолжительности периода  $Y$  всходы — кушение озимой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения выражается уравнением Е. С. Улановой

$$Y = 93,4/W^{0,64}, \quad (11.4)$$

где  $W$  — запасы продуктивной влаги в пахотном слое, мм.

Для Среднего Поволжья зависимость продолжительности периода всходы — кушение озимой пшеницы имеет вид

$$Y = 60/W^{0,44}. \quad (11.5)$$

### 11.3. Оценка агроклиматических и агрометеорологических условий формирования продуктивности озимых зерновых культур

Оценка агрометеорологических условий формирования продуктивности озимых проводится по трем периодам их развития — осеннему, зимнему и весенне-летнему.

В Гидрометцентре РФ Е. С. Улановой разработаны агроклиматические показатели, по которым определяется уровень продуктивности озимых зерновых культур. Урожайность озимой пшеницы зависит от комплексного агроклиматического показателя  $K$  в период весенне-летнего развития растений:

$$K = K_y + K_6 = \frac{W_B + \sum r_{BC}}{0,01 \sum t_{BC}} + 0,001n_{KC}H, \quad (11.6)$$

где  $K_y$  — показатель, характеризующий агроклиматические условия формирования урожайности озимой пшеницы весенне-летнего периода;  $K_6$  — показатель конечной биологической продуктивности озимой пшеницы (биомассы) с учетом осенне-летних и осенне-зимних условий;  $W_B$  — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду возобновления вегетации озимой пшеницы весной, мм;  $\sum r_{BC}$  — сумма осадков от возобновления вегетации пшеницы весной до восковой спелости, мм;  $\sum t_{BC}$  — сумма средних суточных температур воздуха (выше  $5^\circ\text{C}$ ) от возобновления вегетации до восковой спелости;  $n_{KC}$  — число колосоносных стеблей озимой пшеницы на  $1 \text{ м}^2$  в фазу восковой спелости;  $H$  — конечная высота озимой пшеницы, см.

Урожайность  $y$  озимой пшеницы выражается уравнением

$$y = 0,32K + 3,81. \quad (11.7)$$

На рис. 11.3 представлена зависимость урожайности  $y$  озимой пшеницы Безостая 1 и Мироновская 808 от агрометеорологиче-

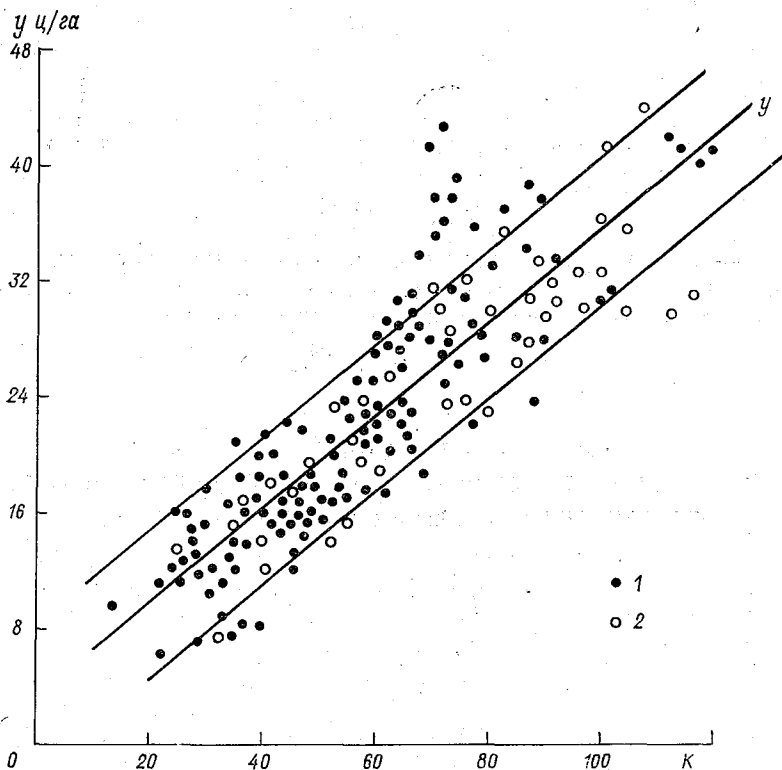


Рис. 11.3. Зависимость урожайности озимой пшеницы сортов Безостая 1 (1) и Мироновская 808 (2) от агрометеорологического показателя  $K$ .

ского показателя  $K$  с учетом различных предшественников. Анализируя эту зависимость, можно сделать следующие выводы:

1. Урожайность озимой пшеницы в среднем менее 15 ц/га наблюдалась в годы, когда показатель  $K$  был меньше 30. Эту величину можно условно принять за показатель плохих условий произрастания озимой пшеницы.

2. Урожайность 15—20 ц/га была при  $K = 30 \dots 50$ . Эту градацию можно считать за показатель недостаточно удовлетворительных условий для озимой пшеницы.

3. Урожайность 20—30 ц/га наблюдалась при  $K = 50 \dots 80$ . Эти значения являются показателем удовлетворительных условий для озимой пшеницы.

4. Урожайность выше 30 ц/га была получена при  $K = 80 \dots 135$ . В эти годы наблюдались хорошие условия для формирования урожая озимой пшеницы.

По приведенным градациям  $K$  можно провести оценку агроклиматических условий произрастания озимой пшеницы как в среднем многолетнем разрезе, так и с расчетом необходимых обеспеченностей по годам.

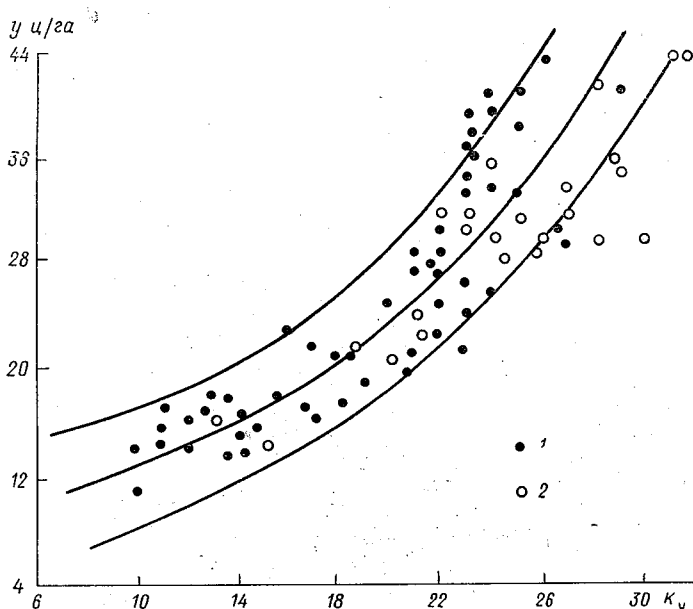


Рис. 11.4. Зависимость урожайности озимой пшеницы сортов Безостая 1 (1) и Мироновская 808 (2) от показателя увлажнения при благоприятных условиях осенне-зимнего периода.

Для оценки агроклиматических условий формирования урожайности озимой пшеницы в весенне-летний период следует пользоваться показателем  $K_y$ , отражающим комплекс условий весенне-летнего периода.

На рис. 11.4 представлена зависимость урожайности озимой пшеницы от показателя  $K_y$  в годы с благоприятными осенне-зимними условиями, когда число стеблей весной было оптимальным (более 1000 на  $1 \text{ м}^2$ ). В эти годы урожайность озимой пшеницы в основном определялась весенне-летними условиями. На основании анализа полученной зависимости можно сделать следующие выводы:

1. Плохие условия весенне-летнего периода характеризуются показателем  $K_y < 12$ . В эти годы урожайность озимой пшеницы составляет меньше 15 ц/га даже при хороших условиях зимовки, когда число стеблей весной составляет около 1000 на  $1 \text{ м}^2$ .

2. Недостаточно благоприятные условия весенне-летнего периода характеризуются показателем  $K_y = 12 \dots 18$  (урожайность озимой пшеницы 15—20 ц/га).

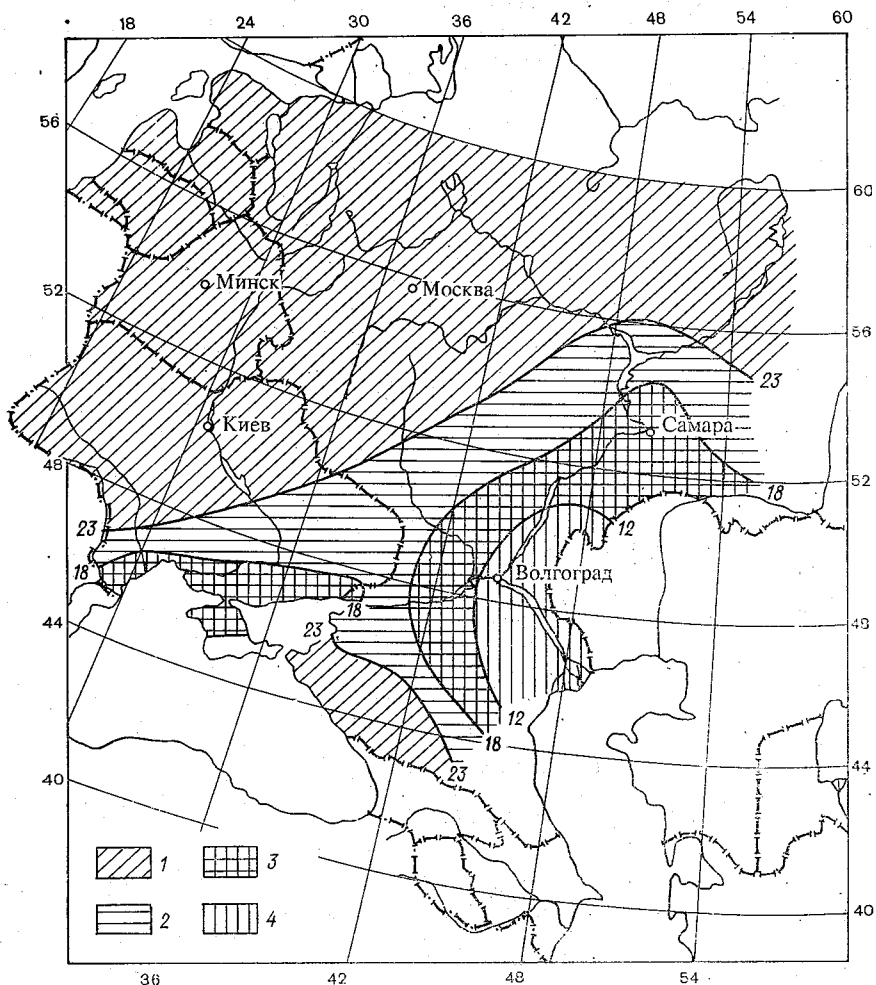


Рис. 11.5. Районирование агроклиматических условий формирования урожайности озимой пшеницы в весенне-летний период по показателю  $K_y$ .

Условия: 1 — хорошие,  $K_y > 23$ ; 2 — удовлетворительные,  $K_y = 18 \dots 23$ ; 3 — недостаточно благоприятные,  $K_y = 12 \dots 18$ ; 4 — плохие,  $K_y < 12$ .

3. Удовлетворительные условия наблюдаются при показателе  $K_y = 18 \dots 23$  (урожайность озимой пшеницы 20—30 ц/га).

4. Хорошие условия весенне-летнего периода характеризуются показателем  $K_y > 23$ , когда урожайность озимой пшеницы была выше 30 ц/га при благоприятных осенне-зимних условиях.



Проведенные расчеты и анализ полученных результатов показали, что в Европейской части РФ выделяются четыре зоны с различными агроклиматическими условиями формирования урожайности озимой пшеницы в весенне-летний период: плохие, недостаточно благоприятные, удовлетворительные и хорошие (рис. 11.5).

#### 11.4. Расчет урожайности зерновых культур в зависимости от метеорологических факторов

Важнейшими факторами жизни растений являются питательные вещества, свет, тепло и влага. Не все эти факторы ежегодно наблюдаются в оптимуме, что не дает возможности растениям постоянно получать высокую продуктивность и устойчивую урожайность сельскохозяйственных культур.

Значительные колебания урожайности озимых культур по годам зависят в основном от изменения влагообеспеченности и условий перезимовки растений. В благоприятные по условиям водоснабжения и зимовки годы урожайность озимых бывает очень высокой. При низких запасах влаги и плохих условиях зимовки урожайность резко снижается.

На основании анализа большого материала наблюдений гидрометслужбой были установлены оценки запасов продуктивной влаги метрового слоя почвы в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы (см. табл. 10.4) для районов черноземных почв.

Второй по значимости фактор для урожайности озимых — высота растений, начиная с фазы колошения.

Третьим фактором для урожайности озимых зерновых являются запасы продуктивной влаги в декаду массового выхода растений в трубку.

Четвертым по значимости фактором для урожайности озимых является продолжительность периодов от возобновления вегетации до выхода в трубку и от молочной до восковой спелости, а также от колошения до восковой спелости.

На основании учета главных инерционных факторов, имеющих тесную связь с урожайностью озимой пшеницы, Е. С. Улановой были разработаны модели, позволяющие заблаговременно вычислить урожайность.

Весной, имея данные о запасах влаги (мм) в метровом слое почвы  $W$  и зная число стеблей  $n$  озимой пшеницы на  $1 \text{ м}^2$ , ожидаемую урожайность  $y$  (ц/га) можно рассчитать по уравнению

$$y = 0,059W + 0,024n - 2,97. \quad (11.8)$$

В фазу выхода в трубку ожидаемую урожайность пшеницы можно рассчитать по уравнению (11.9), которое выражает зависимость урожайности озимой пшеницы  $y$  (ц/га) от запасов влаги в метровом слое почвы весной  $W$  (мм), от числа стеблей на  $1 \text{ м}^2$

в фазу выхода в трубку  $n$ , от средней температуры воздуха  $t$  и суммы осадков  $r$  за период возобновление вегетации — выход в трубку:

$$y = -24,4 + 0,3W - 10^{-3}W^2 + 0,04n - 10^{-5}n^2 + \\ + 0,52t - 0,02t^2 - 0,02r - 10^{-3}r^2. \quad (11.9)$$

В период начала фазы колошения ожидаемую урожайность озимой пшеницы  $y$  (ц/га) с месячной заблаговременностью можно рассчитать по уравнению (11.10) в зависимости от запасов влаги в метровом слое почвы весной  $W$  (мм), от числа колосоносных стеблей на  $1 \text{ м}^2$  в фазу колошения  $n$ , от суммы осадков за период возобновление вегетации — колошение  $r$ , от средней температуры за этот же период  $t$  и от высоты растений пшеницы в фазу колошения  $h$  (см):

$$y = -42,8 + 0,35W - 11 \cdot 10^{-4}W^2 + 0,02n - 7 \cdot 10^{-6}n^2 - \\ - 4 \cdot 10^{-3}r - 2 \cdot 10^{-4}r^2 + 3,3t - 0,15t^2 + 0,24h + 4 \cdot 10^{-6}h^2. \quad (11.10)$$

Приведенные статистические модели можно использовать и для программирования урожайности озимой пшеницы по отдельным полям, задавая ее высокие значения и определяя по моделям необходимые значения густоты стояния и агрометеорологических факторов.

## **Работа 20. Расчет сроков наступления основных фаз развития озимой пшеницы по температуре воздуха**

*Необходимая агрометеорологическая информация:* агроклиматический справочник области, сведения о запасах продуктивной влаги в пахотном слое в конце летнего периода, ожидаемые осадки за осенний период, температура воздуха за летне-осенний период, сроки сева озимых культур.

Одним из решающих факторов, определяющих состояние озимых культур осенью, являются сроки сева.

Сроки сева озимой пшеницы в каждом районе определяются в зависимости от погодных условий летне-весеннего периода. Примерную дату оптимальных сроков сева озимой пшеницы можно определить по рис. 11.1.

Подсчет сроков наступления фаз развития растений пшеницы по температурным показателям можно провести двумя методами: суммированием эффективных температур воздуха до определенной константы и с помощью формул, отражающих зависимость периода прохождения соответствующих фаз от среднесуточной температуры воздуха за период прохождения фаз [формулы (11.1), (11.2) и (11.3)].

### Последовательность выполнения расчетов

Расчет межфазных периодов озимой пшеницы сорта Мироновская 808 проводится по метеорологическим данным ст. Мичуринск Тамбовской области за 1988 г.

1. Определить дату окончания сева озимой пшеницы в районе.

По данным районного агропромышленного объединения сев пшеницы закончился 20 августа.

2. Установить дату проведения расчетов межфазных периодов озимой пшеницы.

Данный расчет обычно проводится после завершения сева. В данном случае расчет делается 21 августа.

3. Вычислить в период сева озимых средние по полям района запасы продуктивной влаги в пахотном слое.

По данным метеостанции запасы влаги в пахотном слое составляли 37 мм, что оцениваются как хорошие (приложение 6).

Сроки прохождения фаз развития пшеницы при оптимальном увлажнении определяются температурными условиями воздуха и почвы.

4. Рассчитать среднюю дату появления всходов пшеницы методом суммирования эффективных температур воздуха.

Для наступления всходов требуется период, за который накопится  $67^{\circ}\text{C}$  эффективных температур. Расчет  $\sum t$  проводится по данным метеорологических бюллетеней формы ТСХ-8 за третью декаду августа:

$$\sum t = 9,0 + 10,5 + 12,7 + 17,3 + 18,9 = 68,4^{\circ}\text{C}.$$

В сумму вошли эффективные температуры за первые пять дней третьей декады августа. К 25 августа накопилась необходимая сумма эффективных температур ( $67^{\circ}\text{C}$ ) для появления всходов пшеницы. За дату всходов пшеницы принимается следующий день, т. е. 26 августа.

5. Рассчитать сроки наступления фазы кушения пшеницы.

От даты всходов до фазы кушения требуется сумма эффективных температур, равная  $134^{\circ}\text{C}$  (табл. 11.1). При подсчете этой суммы используются метеорологические таблицы ТСХ-8 за третью декаду августа и первую декаду сентября:

$$\sum t = 19,2 + 16,8 + 12,3 + 8,9 + 11,0 + 9,5 \cdot 7 = 134,7^{\circ}\text{C}.$$

Необходимая сумма эффективных температур накапливается к 7 сентября. Дата фазы начала кушения озимой пшеницы приходится на 8 сентября.

6. Дату наступления фазы кушения можно определить по среднесуточной температуре воздуха за период от даты всходов до даты кушения. В данном случае средняя температура воздуха определяется с 26 августа по 7 сентября по данным из метеорологических таблиц ТСХ-8:

$$t = \frac{24,2 + 21,8 + 17,3 + 13,9 + 16,0 + 14,5 \cdot 7}{5 + 7} = 16,2^{\circ}\text{C}.$$

Искомый межфазный период  $n$  (в днях) определяется по формуле (11.1) ( $A = 134^\circ\text{C}$ ,  $B = 5^\circ\text{C}$ ):

$$n = \frac{134}{16,2 - 5} = 12.$$

Дата начала кушения пшеницы приходится на 8 сентября ( $26 \text{ VIII} + 12 + 1 = 8 \text{ IX}$ ).

7. Сравнить сроки наступления фенологических фаз озимой пшеницы данного года с многолетними.

8. Результаты расчетов занести в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Результаты расчета наступления межфазных периодов озимой пшеницы в зависимости от температуры воздуха.  
Мичуринский район, Тамбовская область, 1988 г.

Сроки окончания сева	Запасы продуктивной влаги в слое 0—20 см, мм	Среднесуточная температура за период всходов—кушение, °С	Дата появления всходов	Дата наступления фазы кушения
20 VIII	37	16,2	26 VIII	8 IX

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

### Контрольные вопросы

1. Каковы оптимальные сроки сева озимых культур для центральных черноземных областей?

2. От каких основных метеорологических факторов зависит рост и развитие озимых культур в осенний период вегетации?

3. Какова сумма эффективных температур воздуха, необходимая для появления всходов и начала кушения озимой ржи и озимой пшеницы?

4. Как определить даты прекращения вегетации озимых в осенний период?

5. Какими показателями определяется состояние озимых в конце осеннего прекращения вегетации?

### Работа 21. Оценка состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения осенней вегетации

*Необходимая агрометеорологическая информация:* декадные метеорологические бюллетени ТСХ-8, результаты осеннего обследования полей, занятых под озимые зерновые культуры.

Особую важность для урожая озимых зерновых культур имеет осеннее кушение. В этот период образуются будущие колосонные стебли и закладывается их продуктивность.

Продолжительность осеннего кушения зависит от метеорологических условий и колеблется от 10 до 30 дней. Темпы осеннего кушения зависят от основных метеорологических факторов, которыми являются температура воздуха и увлажнение почвы.

Состояние озимых посевов после прекращения вегетации осенью имеет большое значение для их перезимовки. Слаборазвитые и переросшие посевы значительно сильнее повреждаются при неблагоприятных условиях. Критическая температура их вымерзания на 1—3°C выше, чем нормально развитых растений.

Установлено, что наиболее зимостойкими являются хорошо развитые посевы, раскустившиеся до трех-четырех побегов.

Состояние озимых ко времени прекращения их вегетации устанавливается по числу растений на 1 м<sup>2</sup>. Число растений на 1 м<sup>2</sup> ко времени прекращения вегетации озимых зависит от запасов продуктивной влаги пахотного слоя почвы.

При наблюдении норм высева растений связь между указанными факторами для разных зон Европейской части РФ выражается следующими уравнениями:

для центральных черноземных областей и Поволжья

$$\bar{U} = 109,20 + 22,015\bar{W} - 0,352\bar{W}^2, \quad (11.11)$$

для нечерноземной зоны

$$\bar{U} = 117,35 + 22,29\bar{W} - 0,361\bar{W}^2. \quad (11.12)$$

Здесь  $\bar{U}$  — среднее число растений озимых на 1 м<sup>2</sup>;  $\bar{W}$  — средние запасы продуктивной влаги в слое 0—20 см почвы, мм.

При средних запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы, равных 25—35 мм, состояние посевов бывает оптимальным (400—500 растений на 1 м<sup>2</sup>).

Зависимость размеров площади (в процентах посевной по району или области) с плохим состоянием озимых осенью ( $S_0$ ) от среднего числа растений на 1 м<sup>2</sup> выражается уравнениями:

для центральных черноземных зон и Поволжья

$$S_0 = -0,07\bar{U} + 34,64; \quad (11.13)$$

для нечерноземной зоны

$$S_0 = -0,061\bar{U} + 32,208. \quad (11.14)$$

В агрометеорологии оценка состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения осенней вегетации проводится по густоте посевов, количеству побегов у одного растения и общему состоянию зерновых.

#### *Последовательность выполнения расчетов*

Для оценки состояния озимых зерновых культур используются метеорологические показатели по Мичуринской метеостанции за 1988 г. и информация, полученная с полей, занятых под озимую пшеницу.

1. Вычислить густоту посевов озимой пшеницы  $\bar{U}$  к периоду прекращения вегетации.

Запасы продуктивной влаги в пахотном слое осенью (1 сентября) составляли в среднем по району 25 мм.

Для вычисления густоты посевов используется уравнение (11.11):

$$\bar{U} = 109,20 + 22,015 \cdot 25 - 0,352 \cdot 25^2 = 440 \text{ раст/м}^2.$$

При  $\bar{U} = 440$  растений на 1 м<sup>2</sup> посеы характеризуются как оптимальные.

2. Вычислить размеры площади с плохим состоянием посевов  $S_0$  озимой пшеницы осенью.

Для полей Мичуринского района в расчетах используется формула (11.13):

$$S_0 = -0,07 \cdot 440 + 34,64 = 4 \text{ \%}.$$

Удовлетворительное и хорошее состояние посевов по данному району составляет 96 % (100—4 = 96).

3. Записать исходные данные и результаты расчетов в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Данные расчета густоты посевов озимой пшеницы  
к концу осеннего периода вегетации.  
Мичуринский район, Тамбовская область, 1988 г.

Сроки окончания сева	Запасы продуктивной влаги в слое 0—20 см, мм	Густота посевов, раст/м <sup>2</sup>	Размеры площадей посевов с плохим состоянием, %
20 VIII	25	440	4

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

### Контрольные вопросы

1. Назовите фенологические фазы развития озимых зерновых культур в осенний период.

2. От каких основных метеорологических факторов зависит рост и развитие озимых культур в осенний период вегетации?

3. Какой метеорологический показатель использует гидрометслужба при расчетах оптимальных сроков сева озимых зерновых культур?

4. При какой температуре воздуха прекращается осенняя вегетация озимых?

5. Какими показателями определяется состояние озимых в конце осеннего прекращения вегетации?

## Глава 12. МЕТОДЫ УЧЕТА И ОЦЕНКИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЕРЕЗИМОВКИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

### 12.1. Оценка агрометеорологических условий перезимовки озимых культур и причин, вызывающих их гибель

Перезимовка озимых культур определяется биологическими особенностями — их зимостойкостью, агрометеорологическими условиями осеннего и зимне-весеннего периодов и состоянием посевов осенью, отражающим уровень агротехники (сроки сева, качество обработки почвы и семян, влияние предшественников и др.).

Главными причинами повреждений или гибели озимых культур в зимний период являются: вымерзание, выпревание, вымокание, повреждение растений ледяной коркой и ряд других причин.

Основными факторами, определяющими перезимовку озимых культур, являются: высота снежного покрова, минимальная температура воздуха и почвы на глубине узла кушения в различные периоды зимы, сумма отрицательных температур воздуха, глубина промерзания почвы, продолжительность периода с высотой снежного покрова  $\geq 30$  см, сумма осадков за осенний и зимний периоды и др.

Частая гибель озимых от вымерзания в суровые зимы является главным препятствием для расширения их площадей по некоторым регионам страны. Во время похолодания минимальная температура на глубине узла кушения озимых становится ниже критической температуры вымерзания и растения повреждаются или полностью гибнут (рис. 12.1).

Зависимость степени изреженности  $U$  озимой пшеницы сортов Мироновская 808 и Безостая 1 от минимальной температуры почвы на глубине узла кушения  $t_3$  и средней по полю кустистости озимой пшеницы осенью  $K$  выражается уравнением

$$\lg U = 2,6600 \lg t_3 - 0,1290 \lg K - 1,7330. \quad (12.1)$$

Минимальная температура почвы на глубине узла кушения в формуле (12.1) берется по абсолютной величине, т. е. с обратным знаком.

Уравнение (12.1) действительно при коэффициентах кушения 1,1—4,5 побегов и при  $t_3$  ниже  $-10^\circ\text{C}$ .

Для слаборазвитой озимой пшеницы (в фазах всходов и 3-го листа) сорта Безостая 1 уравнение имеет вид

$$\lg U = 0,1168 (t_3 - 5) + 0,402, \quad (12.2)$$

где  $U$  и  $t_3$  — то же, что в формуле (12.1).

Влияние минимальной температуры на глубине узла кушения озимых на степень изреженности озимой пшеницы от вымерзания на конкретных полях можно оценить по данным табл. 12.1.

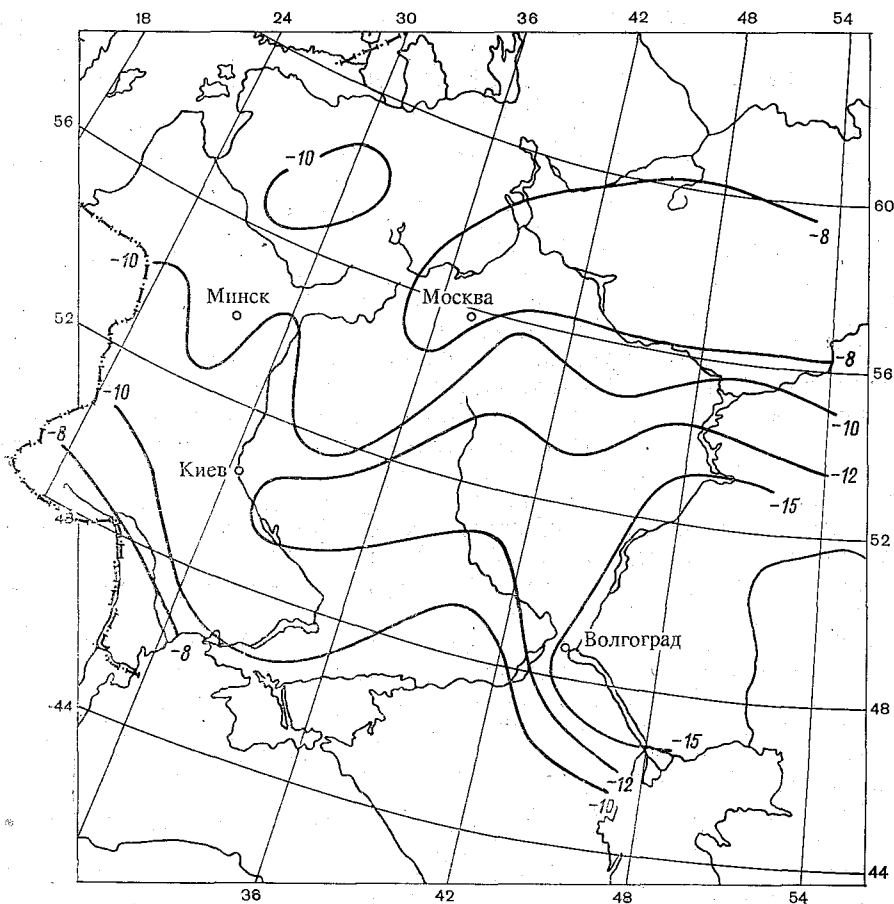


Рис. 12.1. Минимальная температура почвы (°C) на глубине узла кушения озимых (средний из абсолютных минимумов с 1952 по 1971 г.).

В табл. 12.2 даны пределы  $t_3$ , при которых озимая пшеница пересекается весной вследствие вымерзания в период зимовки.

Изреженность озимой ржи к весне для сортов Харьковская 55 и 60, Вятка и Вятка 2 можно рассчитать по уравнениям В. А. Шавкуновой:

$$U = 9,487t_3 + 0,374t_3^2 + 70,181; \quad (12.3)$$

с учетом состояния посевов осенью

$$U = 9,076t_3 + 0,379t_3^2 - 4,898K + 0,474K^2 + 71,201. \quad (12.4)$$



Таблица 12.1

Зависимость изреженности  $U$  озимой пшеницы (%) от минимальной температуры почвы на глубине узла кущения  $t_3$  и степени развития растений осенью (по В. А. Моисейчик)

Сорт	Фаза развития	Минимальная температура почвы, °C								
		-5	-10	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
Безостая 1	Всходы — 3-й лист	0	12	30	40	50	100	100	100	100
	Кущение	0	4	12	18	25	50	100	100	100
Мироновская 808	Всходы — 3-й лист	0	8	25	30	35	50	70	100	100
	Кущение	0	4	8	10	15	30	50	75	100

Таблица 12.2

Примерные значения минимальной температуры почвы  $t_3$  на глубине 3 см, при которых озимая пшеница требует подсева (1) или пересева (2)

Сорт	Состояние посевов осенью					
	в фазе всходов или 3-го листа		раскутившиеся и хорошо закаленные		раскутившиеся и слабо закаленные	
	1	2	1	2	1	2
Безостая 1 Мироновская 808	-15...-17	Ниже -17	-17...-18	Ниже -18	-16...-17	Ниже -17
	-16...-18	Ниже -18	-18...-19	Ниже -19	-17...-18	Ниже -18

Уравнения действительны при  $t_3$  ниже  $-10^\circ\text{C}$  и  $K = 1,0 \dots 5,0$ .

Для сортов озимой ржи Саратовская крупнозерная прогностическая зависимость имеет вид

$$U = 9,001t_3 + 0,369t_3^2 + 60,012; \quad (12.5)$$

с учетом осеннего состояния посевов

$$U = 9,001t_3 + 0,365t_3^2 - 5,536K + 0,693K^2 + 66,411. \quad (12.6)$$

Здесь  $t_3$  — минимальная температура почвы на глубине 3 см до 20 февраля,  $K$  — кустистость посевов осенью (число побегов на одном растении).

Уравнения действительны при значениях  $t_3 = -10 \dots -25^\circ\text{C}$  и  $K = 1,0 \dots 5,0$  побегов.

Полученные зависимости позволили В. А. Моисейчик установить, что при отсутствии других причин повреждения перезимовка озимой пшеницы проходит хорошо при минимальной температуре почвы на глубине узла кушения выше  $-10^\circ\text{C}$ . Удовлетворительное состояние озимых посевов (изреженность 30 % для слаборазвитых с осени посевов и 50 % для хорошо развитых) обеспечивается соответственно для пшеницы сорта Безостая 1 при  $-15$ ,  $-18^\circ\text{C}$ , для пшеницы Мироновская 808 при  $-17$ ,  $-19^\circ\text{C}$ . При более низких значениях температуры изреженность значительно увеличивается.

Вымерзание озимых культур в лесостепной и степной зонах при небольшом снежном покрове часто сопровождается вредным действием на растения притертой к почве ледяной корки.

В целом по территории области или края площадь погибших посевов озимой пшеницы в результате комплексного действия морозов и притертой к почве ледяной корки можно рассчитать по уравнению, полученному В. А. Моисейчик для областей черноземной зоны:

$$S_{\text{вп}} = 1,017S_0 + 5,340\bar{m} - 1,060\bar{t}_3 - 3,689, \quad n = 261, \quad (12.7)$$

где  $S_{\text{вп}}$  — площадь озимой пшеницы с плохим состоянием весной, %;  $S_0$  — то же осенью по результатам маршрутного наземного или авиационного обследования;  $\bar{m}$  — средняя по области и за период залегания толщина притертой к почве ледяной корки, см;  $\bar{t}_3$  — среднее по области значение абсолютного минимума температуры почвы на глубине узла кушения;  $n$  — число случаев определения  $m$  и  $t_3$  регрессии. Это уравнение используется при продолжительности залегания на полях ледяной корки в течение трех декад и более.

## 12.2. Комплексная оценка агроклиматических условий перезимовки озимых

При установлении комплексного показателя агроклиматических условий перезимовки озимых помимо основных элементов, определяющих перезимовку растений, учитывается состояние озимых культур, а также географическое распределение посевов по территории.

Агроклиматический показатель условий перезимовки озимых культур в среднем по области для степной зоны выражается уравнением В. А. Моисейчик

$$\bar{K} = 0,4844 \frac{\bar{T}}{t_k} + 1,3081 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,6071, \quad (12.8)$$

где  $\bar{K}$  — комплексный показатель;  $\bar{T}$ ,  $\bar{H}$ ,  $\bar{n}$  — осредненные по области средние многолетние значения соответственно минимальной температуры воздуха, максимальной глубины промерзания почвы и продолжительности периода со снежным покровом;  $t_k$  — критическая температура вымерзания возделываемых сортов озимых культур на территории области.

Уравнение действительно при значениях:  $\bar{T}$  от  $-15$  до  $-30^\circ\text{C}$ .,  $\bar{H}$  от 10 до 100 см,  $\bar{n}$  от 25 до 120 дней.

Для лесной и лесостепной зон уравнение имеет вид

$$\bar{K} = 0,4934 \frac{\bar{T}}{t_k} + 1,481 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,7015. \quad (12.9)$$

Уравнение действительно при значениях:  $\bar{T}$  от  $-18$  до  $-45^\circ\text{C}$ .,  $\bar{H}$  от 10 до 150 см,  $\bar{n}$  от 35 до 200 дней.

Комплексный показатель достаточно полно отражает агроклиматические условия перезимовки озимых зерновых культур. При  $\bar{K} < 1$  площадь гибели озимых составляет около 10 %, при  $\bar{K} > 1$  условия перезимовки резко ухудшаются, в результате чего площадь гибели озимых возрастает до 30 %.

Зависимость между средними многолетними значениями площади гибели озимых культур  $\bar{S}_b$ , посевами их по области и показателем агроклиматических условий перезимовки выражается следующими уравнениями:

для лесной и лесостепной зон (рис. 12.2 кривая I)

$$\bar{S}_b = 84,63\bar{K}^2 - 137,25\bar{K} + 61,53, \quad (12.10)$$

уравнение действительно при  $\bar{K} = 0,55 \dots 1,30$ ;

для степной зоны (рис. 12.2, кривая II)

$$\bar{S}_b = 63,37\bar{K}^2 - 54,40\bar{K} + 16,07, \quad (12.11)$$

уравнение действительно при  $\bar{K} = 0,33 \dots 1,20$ .

По уравнениям (12.10) и (12.11) или графику рис. 12.2 рассчитываются размеры площади погибших посевов при различных

значениях комплексного показателя агроклиматических условий перезимовки и проводится количественная оценка (в баллах) этих условий (табл. 12.3).

Комплексная количественная оценка перезимовки озимых культур, рассчитанная в Гидрометцентре по среднему многолетнему показателю  $K$ , приведена на рис. 12.3.

$K$  районам с плохими и очень плохими условиями перезимовки возделываемых сортов озимых культур, как видно на карте

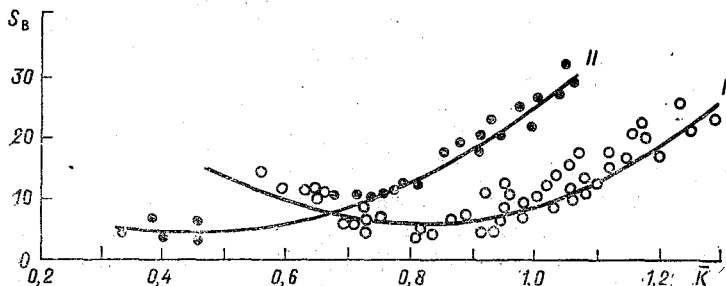


Рис. 12.2. Зависимость между средними многолетними значениями коэффициента  $K$  и фактической площадью с погибшими посевами ( $S_b$  в % общей посевной площади).

I — для лесной зоны, II — для степной зоны.

Таблица 12.3

Количественная оценка условий перезимовки озимых по показателю  $K$

Оценка условий перезимовки	Показатель $K$							
	<0,30	0,30—0,45	0,46—0,65	0,66—0,75	0,76—0,90	0,91—1,00	1,01—1,15	1,16—1,20

Лесная и лесостепная зоны

Средняя многолетняя площадь погибших озимых $S_b$ , % Оценка условий, баллы	<20	16—20	8—15	6—7	0—5	6—7	8—15	16—20	<20
		1	2	3	4	5	4	3	2

Оценка условий перезимовки	Показатель $K$			
	0,70	0,70—0,85	0,86—0,95	0,96—1,10

Степная зона

Средняя многолетняя площадь погибших озимых $S_b$ , % Оценка условий, баллы	<10	11—15	16—20	21—30	>30
		5	4	3	2

(рис. 12.3), относятся ряд северных и восточных районов Украины, Центрально-Черноземная зона, Среднее и Нижнее Поволжье, юг Урала, Западная Сибирь, часть Казахстана и Восточная Сибирь.

Сотрудниками ВНИИСХМ разработаны эталонные классы метеорологических условий перезимовки озимых культур.

Методом сравнения метеорологических показателей зимнего периода с эталонными количественными показателями можно дать оценку условий перезимовки озимых зерновых культур (приложение 4).

## Работа 22. Расчет изреженности посевов озимой пшеницы от вымерзания

*Исходные данные:* данные о минимальной температуре воздуха по метеостанциям и постам района (формы ТСХ-8), о средней высоте снежного покрова и глубине промерзания почвы на полях (формы ТСХ-8), информация о состоянии посевов озимых после перезимовки по району.

Устойчивость растений к морозам (морозостойкость) характеризуется критической температурой вымерзания растений, при которой от вымерзания погибает более 50 % растений.

Основным агрометеорологическим показателем перезимовки озимых культур является минимальная температура почвы на глубине узла кущения (3 см). Понижение ее до критической температуры вымерзания растений даже в течение одного дня, особенно после оттепели, приводит к значительному изреживанию посевов, а более длительное (до трех дней и более) и интенсивное понижение — к полной гибели посевов. Минимальную температуру на этой глубине можно определить графически и аналитически.

Пользуясь графиком А. М. Шульгина (рис. 12.4), по минимальной температуре воздуха и высоте снежного покрова можно определить минимальную температуру почвы на глубине узла кущения.

Аналитически зависимость минимальной температуры почвы  $t_3$  на глубине 3 см от минимальной температуры воздуха  $T$  (°C), высоты снежного покрова  $h$  (см), числа стеблей  $P$  на 1 м<sup>2</sup> и от глубины промерзания почвы  $H$  (см) выражается уравнениями регрессии, рассчитанным В. А. Моисейчик:

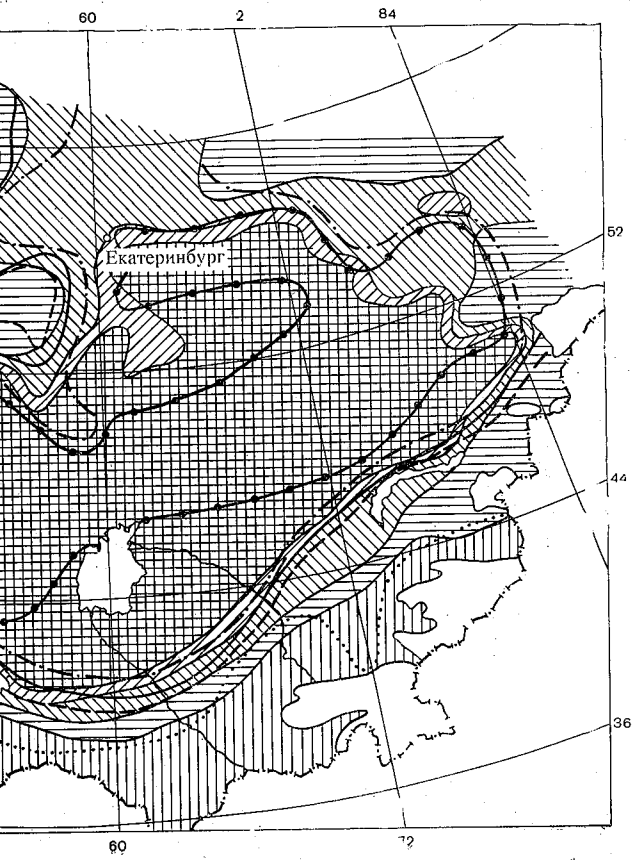
для черноземной зоны

$$t_3 = 0,618T - 0,082H + 0,658h - 0,008h^2 + 0,0007P - 0,366, \quad (12.12)$$

для нечерноземной зоны с хорошо увлажненной суглинистой почвой

$$t_3 = 0,274T - 0,052H + 0,444h - 0,003h^2 + 0,0004P - 5,960. \quad (12.13)$$





Оценка условий в баллах: I — отличные, II — хорошие, III — удовлетворительные, IV — плохие, V — очень плохие. Градусы районов с благоприятными условиями перезимовки озимых культур с различной морозостойкостью: 1 — слабо- и среднестойких сортов озимого ячменя, с критической температурой вымерзания  $t_k = -14^\circ\text{C}$ ; 2 — высокоморозостойких сортов озимого ячменя, слабоморозостойких сортов озимой пшеницы с  $t_k = -16^\circ\text{C}$ ; 3 — среднестойких сортов озимой пшеницы, среднестойких сортов озимой ржи с  $t_k = -18^\circ\text{C}$ ; 4 — высокоморозостойких сортов озимой пшеницы, высокоморозостойких сортов озимой ржи с  $t_k = -20^\circ\text{C}$ ; 5 — высокоморозостойких сортов озимой ржи с  $t_k = -24^\circ\text{C}$ .

Уравнения действительны при следующих значениях:  $T = -10 \dots -40^\circ\text{C}$ ,  $H = 20 \dots 150$  см,  $h = 0 \dots 40$  см,  $P = 200-2000$  стеблей на  $1 \text{ м}^2$ .

При отсутствии снежного покрова на температуру почвы влияет в основном температура воздуха  $T$  и глубина промерзания почвы  $H$ . Для глубины промерзания менее 30 см уравнение регрессии имеет вид

$$t_3 = 0,76T + 2,88; \quad (12.14)$$

для глубины промерзания почвы более 30 см уравнение имеет другие коэффициенты:

$$t_3 = 0,81T + 0,26. \quad (12.15)$$

После образования на полях снежного покрова зависимости между минимальной температурой почвы на глубине узла кущения и минимальной температурой воздуха  $T$ , глубиной промерзания почвы  $H$  и разной высотой снежного покрова выражены многофакторными уравнениями:

1) для высоты снежного покрова 5 см

$$t_3 = 0,64T - 0,07H + 5,2; \quad (12.16)$$

2) для высоты снежного покрова 10 см

$$t_3 = 0,25T - 0,06H + 0,48, \quad (12.17)$$

3) для высоты снежного покрова 15 см

$$t_3 = 0,17T - 0,06H + 1,9, \quad (12.18)$$

4) для высоты снежного покрова 20 см

$$t_3 = 0,12T - 0,05H + 1,56. \quad (12.19)$$

Точность решения уравнений близка к  $1^\circ\text{C}$ .

Для упрощения расчетов минимальной температуры почвы используются графики для высоты снежного покрова 5 и 10 см (рис. 12.5).

Зная минимальную температуру на глубине узла кущения  $t_3$  и сопоставляя ее значение с критической температурой вымерзания растений (с морозоустойчивостью данного сорта озимых культур), можно установить степень



повреждения или гибель растений от вредного действия сильных морозов.

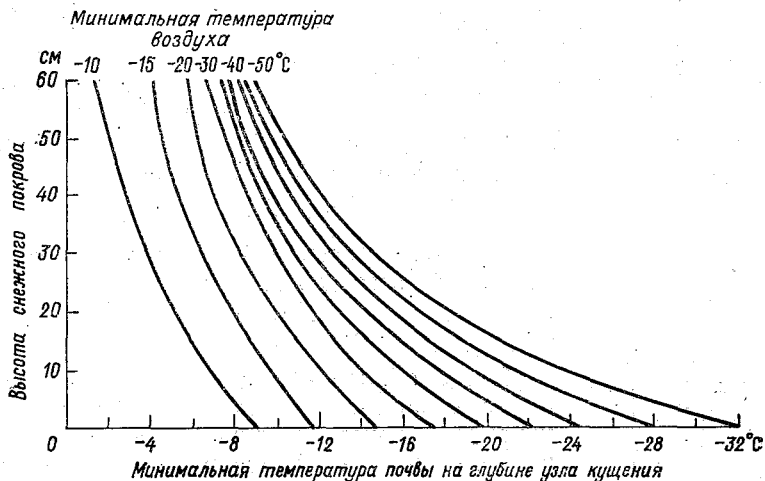


Рис. 12.4. Связь минимальной температуры почвы на глубине узла кушения (3 см) с минимальной температурой воздуха при различной высоте снежного покрова.

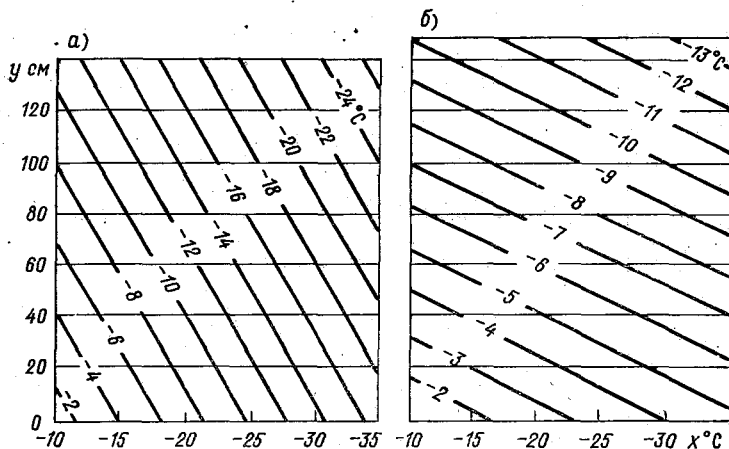


Рис. 12.5. Зависимость минимальной температуры почвы (°C) на глубине узла кушения озимых культур 3 см от минимальной температуры воздуха  $x$  и глубины промерзания почвы  $y$  при высоте снежного покрова 5 см (а) и 10 см (б).

#### Последовательность выполнения расчетов

Расчет изреженности посевов озимой пшеницы Мироновская 808 от вымерзания проводится для ст. Мичуринск Центрально-Черноземного района за зиму 1986-87 гг.

1. Получить результаты осеннего обследования посевов пшеницы на полях района.

В нашем примере кустистость растений пшеницы была средней — 3 побега на одно растение, число стеблей на 1 м<sup>2</sup> по полям района составляло 950.

2. Уточнить зимнюю дату проведения расчета.

В данном случае расчет проводится 21 февраля.

3. Получить метеорологические сведения (форма ТСХ-8) за холодные месяцы зимы (декабрь — 20 февраля) и выписать по декадам минимальные температуры воздуха  $T$ , среднюю высоту снежного покрова  $h$  и глубину промерзания почвы  $H$ :

	$T$ °C	$h$ см	$H$ см
Декабрь	-12,5, -26,0, -28,0	10, 4, 8	44, 103, 115
Январь	-36,7, -31,4, -29,5	18, 25, 33	125, 139, 145
Февраль	-17,9, -23,3, —	42, 43, —	150, 153, —

4. Вычислить минимальную температуру на глубине узла кушения.

Для декад со снежным покровом до 20 см расчет проводят по формулам (12.16) — (12.19). При снежном покрове более 20 см — по формуле (12.12):

$$t_{3 \text{ XII-I}} = -0,25 \cdot 12,5 - 0,06 \cdot 44 + 0,48 = -5,2 \text{ °C.}$$

Здесь и далее первая римская цифра в индексе обозначает месяц, вторая — декаду этого месяца.

$$t_{3 \text{ XII-II}} = -0,64 \cdot 26,0 - 0,07 \cdot 103 + 5,2 = -18,6 \text{ °C;}$$

$$t_{3 \text{ XII-III}} = -0,25 \cdot 28,0 - 0,06 \cdot 115 + 0,48 = -13,4 \text{ °C;}$$

$$t_{3 \text{ I-I}} = -0,12 \cdot 36,7 - 0,05 \cdot 125 + 1,56 = -9,1 \text{ °C;}$$

$$t_{3 \text{ I-II}} = -0,618 \cdot 31,4 - 0,082 \cdot 139 + 0,658 \cdot 25 - 0,008 \cdot 25^2 + 0,0007 \cdot 950 - 0,366 = -13,1 \text{ °C;}$$

$$t_{3 \text{ I-III}} = -0,618 \cdot 29,5 - 0,082 \cdot 145 + 0,658 \cdot 33 - 0,008 \cdot 33^2 + 0,007 \cdot 950 - 0,366 = -10,8 \text{ °C;}$$

$$t_{3 \text{ II-I}} = -0,618 \cdot 17,9 - 0,082 \cdot 150 + 0,658 \cdot 42 - 0,0080 \cdot 42^2 + 0,0007 \cdot 950 - 0,366 = -3,6 \text{ °C;}$$

$$t_{3 \text{ II-II}} = -0,618 \cdot 23,3 - 0,082 \cdot 153 + 0,658 \cdot 43 - 0,008 \cdot 43^2 + 0,0007 \cdot 950 - 0,366 = -7,2 \text{ °C.}$$

5. Определить изреженность посевов за каждую декаду перезимовки. Для этой цели используют уравнение (12.1) для декад, когда температура  $t_3$  была ниже  $-10^\circ\text{C}$ :

$$\lg U_{\text{XII-II}} = 2,66 \lg 18,6 - 0,129 \lg 3 - 1,733 = 1,5824,$$

$$U_{\text{XII-II}} = 38 \%.$$

$$\lg U_{\text{XII-III}} = 2,66 \lg 13,4 - 1,7945 = 1,2036,$$

$$U_{\text{XII-III}} = 16 \%.$$

$$\lg U_{\text{I-II}} = 2,66 \lg 13,1 - 1,7945 = 1,1688, \quad U_{\text{I-II}} = 23 \%.$$

$$\lg U_{\text{I-III}} = 2,66 \lg 10,8 - 1,7945 = 0,9543, \quad U_{\text{I-III}} = 9 \%.$$

6. Вычислить изреженность посевов за весь зимний период.

$$U = U_{\text{XII-II}} + U_{\text{XII-III}} + U_{\text{I-II}} + U_{\text{I-III}} = 38 + 16 + 23 + 9 = 86 \%.$$

7. Записать результаты расчетов и данные обследований в табл. 12.4.

Таблица 12.4

Расчет изреженности растений пшеницы Мироновская 808.  
Мичуринский район, зима 1986-87 гг.

Дата проведения расчета 21 февраля 1987 г. Число стеблей на 1 м<sup>2</sup> 950. Средняя кустистость 3 стебля на одно растение.

Метеорологические величины и изрежен- ность посевов	Декабрь			Январь			Февраль	
	I	II	III	I	II	III	I	II
$T$ °C	-12,5	-26,0	-28,0	-36,7	-31,7	-29,5	-17,9	-23,3
$h$ см	10	4	8	18	25	33	42	43
$H$ см	44	103	115	125	139	145	150	153
$t_3$ °C	-5,2	-18,6	-13,4	-9,1	-13,1	-10,8	-3,6	-7,2
$U$ %	—	38	16	—	23	9	—	—

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Контрольные вопросы

1. Перечислить причины, вызывающие повреждения и гибель озимых культур при перезимовке.

2. Какие метеорологические факторы определяют перезимовку озимых культур?

3. Почему минимальная температура почвы на глубине 3 см является главным метеорологическим фактором в исходе перезимовки озимых?

4. Как определяется минимальная температура на глубине узла кущения?

5. Как рассчитать изреженность посевов озимых культур?

## Работа 23. Расчет гибели озимых культур по агроклиматическому показателю условий перезимовки

*Источники метеорологической информации:* агроклиматический справочник области, агрометеорологические сведения за зимний период (форма ТСХ-8), данные о критической температуре вымерзания озимых зерновых культур.

Главной причиной гибели озимых культур на больших площадях является вымерзание растений. Оно происходит в результате понижения температуры почвы на глубине узла кущения до пределов, равных и ниже так называемой критической температуры вымерзания растений, характеризующей их морозостойкость. Такое понижение температуры почвы на глубине узла кущения наблюдается в периоды сильных морозов при отсутствии или небольшом снежном покрове на полях и глубоком промерзании почвы.

Агрометеорологические условия, при которых озимые посевы вымерзают, создаются в первой половине зимы до образования на полях достаточного для сохранения растений от морозов снежного покрова. Во второй половине зимы вымерзание озимых культур возможно лишь в отдельные годы в районах с неустойчивым снежным покровом.

Степень повреждения растений от вымерзания зависит от интенсивности и длительности опасных морозов и состояния самих растений.

Решающим фактором при вымерзании является степень повреждения морозами узла кущения. Сильное повреждение узла кущения неминуемо вызывает гибель всего растения. Температура, при которой погибает узел кущения растений, различна не только для разных озимых зерновых культур и их сортов, но и для одних и тех же сортов в зависимости от состояния растений осенью (фазы развития, глубины узла кущения, степени кущения, степени заделки, состояния конуса нарастания в момент прекращения вегетации и др.) и изменения их морозостойкости под влиянием агрометеорологических условий в зимний период.

Хорошо развитые и закаленные посевы озимой ржи, находясь в состоянии покоя, могут выдерживать понижение температуры на глубине узла кущения до  $-24^{\circ}\text{C}$  и ниже. Узлы кущения озимой пшеницы менее морозостойки. В естественных условиях растения озимой пшеницы полностью погибают при температуре почвы на глубине узла кущения ниже  $-22^{\circ}\text{C}$ .

Вымерзают озимые культуры наиболее часто на возвышенных участках поля, а также на западных и южных склонах, где высота снежного покрова меньше, а промерзание почвы больше.

Для оценки агрометеорологических условий перезимовки озимых культур В. А. Моисейчик рекомендует использовать агрометеорологический показатель условий перезимовки  $K$  [формулы

(12.8) и (12.9)]. Комплексный показатель достаточно полно отражает агроклиматические условия перезимовки озимых зерновых культур.

Зависимость между значениями площади гибели озимых культур  $S_B$  и показателем агроклиматических условий перезимовки для разных зон выращивания выражается уравнениями (12.10) и (12.11). По этим уравнениям можно с достаточной точностью рассчитать размеры площади погибших посевов при различных значениях  $K$ .

Расчет площади погибших культур проводится в конце зимы или в начале весны.

#### *Последовательность выполнения расчетов*

Расчет гибели озимой пшеницы сорта Мироновская 808 проводится для ст. Мичуринск, расположенной в лесостепной зоне, по метеорологическим данным зимы 1987-88 гг.

1. Выписать агрометеорологическую информацию из метеорологических таблиц формы ТСХ-8, необходимую для расчета гибели озимой пшеницы.

В данном случае агрометеорологические условия характеризуются следующими показателями:

1)  $t_k = -18,0^\circ\text{C}$  — критическая температура вымерзания озимой пшеницы сорта Мироновская 808;

2)  $T = -28,6^\circ\text{C}$  — минимальная температура воздуха за зимний период данного года;

3)  $H = 59$  см — максимальная глубина промерзания почвы на полях, занятых пшеницей;

4)  $n = 148$  дней — продолжительность периода со снежным покровом.

2. Вычислить комплексный показатель условий перезимовки озимой пшеницы.

Для территории Мичуринска в расчетах используется формула (12.9):

$$K = 0,4934 \frac{-28,6}{-18} + 1,481 \frac{59}{148} - 0,7015 = 0,6729.$$

3. Вычислить площадь гибели растений пшеницы от вымерзания.

В данном случае используется уравнение (12.10):

$$S_B = 84,63 \cdot 0,6729^2 - 137,25 \cdot 0,6729 + 61,53 = 7,5 \%$$

Дать оценку агрометеорологических условий перезимовки озимой пшеницы.

Оценка агрометеорологических условий и определение площади погибших посевов по району делается по табл. 12.3.

Для озимой пшеницы при  $K = 0,67$  в Мичуринском районе за зиму 1987-88 гг. создались хорошие условия (4 балла).

Площадь погибших озимых составляет всего лишь 6—7 %.

5. Записать агрометеорологическую информацию зимнего периода и полученные результаты расчетов в табл. 12.5.

Таблица 12.5

**Расчет гибели растений озимой пшеницы Мироновская 808 по Мичуринскому району за зиму 1986-87 гг.**

Минимальная температура воздуха, °С	Глубина промерзания почвы, см	Период со снежным покровом, число дней	Агрометеорологический показатель перезимовки	Площадь гибели озимых, %
-28,6	59	148	0,67	7,5

*Подпись преподавателя* \_\_\_\_\_

*Контрольные вопросы*

1. Назовите причины, вызывающие повреждения и гибель озимых культур при перезимовке.
2. Какие метеорологические элементы определяют перезимовку озимых культур?
3. Что такое критическая температура вымерзания растений и от каких факторов зависит ее значение?
4. Что называют агроклиматическим показателем условий перезимовки и какие метеорологические факторы используются при его расчетах?
5. Как определяется площадь гибели озимых культур?

## Глава 13. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

### 13.1. Основные группы агрометеорологических прогнозов

Одним из важных видов агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства являются *долгосрочные агрометеорологические прогнозы*. Они имеют большое значение для решения ряда задач и позволяют наиболее полно использовать агрометеорологические условия при выращивании сельскохозяйственных культур.

Агрометеорологические прогнозы принимаются в расчет специалистами сельского хозяйства при планировании агротехнических мероприятий, начиная от подготовки почвы к посеву, кончая уборкой урожая. Прогнозы урожайности сельскохозяйственных культур используются для уточнения планов закупок и заготовок сельскохозяйственной продукции и снабжения населения продовольствием, а промышленность — сырьем, для распределения уборочной техники и транспортных средств, работы элеваторов и т. д.

По решаемым задачам агрометеорологические прогнозы можно разделить на пять основных групп:

- 1) прогнозы состояния озимых культур в зимний период;
- 2) прогнозы агрометеорологических условий, формирующих урожай;
- 3) фенологические прогнозы;
- 4) прогнозы урожая сельскохозяйственных культур и валового сбора продукции;
- 5) прогнозы сроков появления и распространения болезней и вредителей растений;

При составлении агрометеорологических прогнозов используются различные методы обработки агрометеорологической информации и фенологических наблюдений. Широкое распространение получили статистические методы, основанные на определении зависимости прогнозируемой величины от агрометеорологических факторов, которые оказывают наиболее существенное влияние на настоящее и будущее состояние сельскохозяйственных культур.

Наиболее перспективными являются методы прогнозов, основанные на разработке динамических моделей. Последние позволяют объединить разрозненные знания по агрометеорологии, биологии, агротехнике в единое целое и учесть динамику развития растений.

Исходными данными для агрометеорологических прогнозов служат сопряженные наблюдения за метеорологическими условиями и состоянием посевов текущего года, долгосрочные прогнозы погоды, агроклиматические справочники и атласы.

## Работа 24. Прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу полевых работ

*Исходные данные:* декадные метеорологические сведения (форма ТСХ-8); агроклиматический справочник области; прогноз погоды на апрель; атлас запасов влаги под озимыми и ранними яровыми культурами.

Прогноз запасов продуктивной влаги к началу вегетационного периода составляется для тех районов, где запасы влаги в метровом слое почвы к концу осени не достигают наименьшей влагоемкости. Этот прогноз имеет большое значение для районов недостаточного и неустойчивого увлажнения.

Влагозапасы почвы оцениваются величиной продуктивной влаги. Весенние запасы продуктивной влаги являются главным водным ресурсом для выращивания озимых и других культур, они определяют влагообеспеченность в период формирования колоса и цветка и уровень урожайности зерновых культур (рис. 13.1).

Методика прогноза запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы к началу полевых работ, разработанная Л. А. Разумовой, основана на зависимости весенних запасов влаги  $W_{\text{вес}}$  в почве от осенних запасов  $W_{\text{ос}}$  и количества осадков  $r$  за осенне-зимний период.

Изменение запасов продуктивной влаги в течение зимнего периода выражается следующими уравнениями:

для районов с глубоким залеганием грунтовых вод и устойчивой зимой

$$\Delta W = 0,115r + 0,56d - 20; \quad (13.1)$$

для районов с глубоким залеганием грунтовых вод и неустойчивой зимой

$$\Delta W = 0,21r + 0,62d - 33. \quad (13.2)$$

Здесь  $\Delta W$  — изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм) за период от последнего определения запасов влаги в почве перед ее замерзанием (исходные запасы) до первого определения запасов влаги в почве весной (декады перехода температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$ );  $r$  — количество осадков (мм), выпавших за период от последнего определения влажности почвы осенью до даты составления прогноза, плюс осадки, ожидаемые от даты составления прогноза до даты перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$  весной;  $d$  — недостаток насыщения почвы влагой в метровом слое (мм) осенью (разность между наименьшей влагоемкостью и исходными осенними запасами влаги).

Для расчета ожидаемых запасов продуктивной влаги в почве к началу сева яровых культур необходимо иметь следующие данные:



1. Запасы влаги в почве, определенные на полях, предназначенных под посев яровых культур (зябь), перед замерзанием почвы.

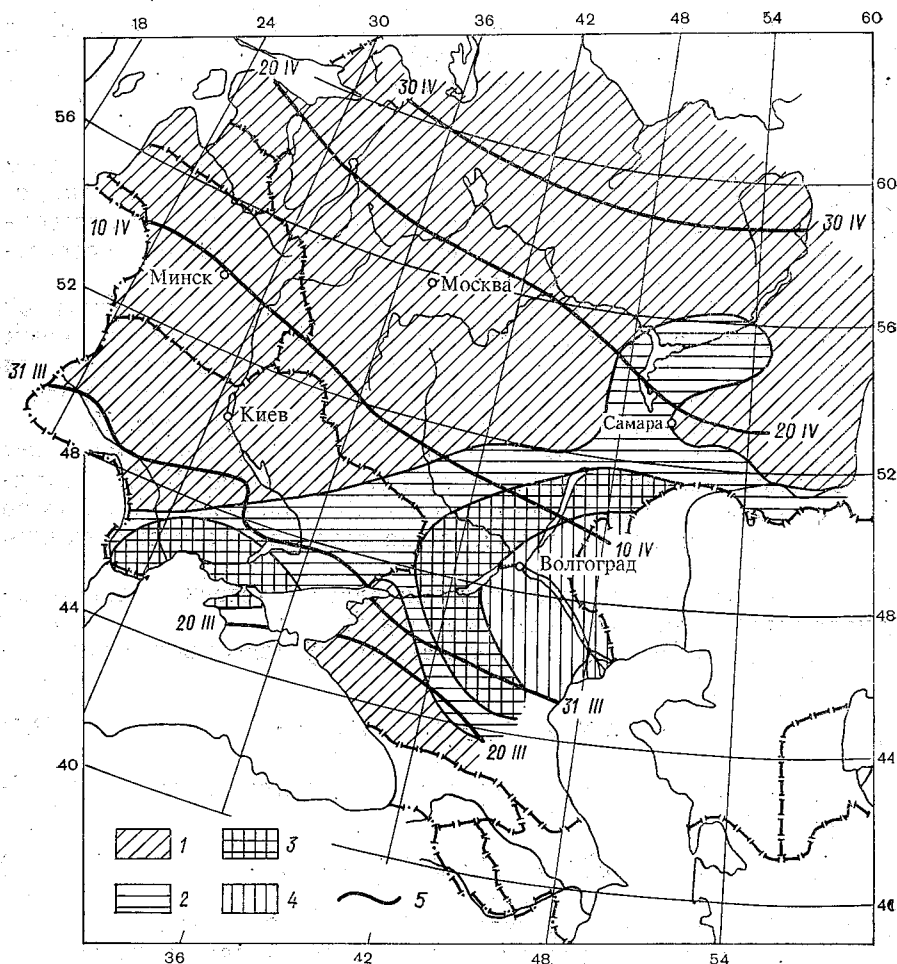


Рис. 13.1. Средние многолетние запасы продуктивной влаги (мм) под озимыми в слое почвы 0—100 см в декаду возобновления вегетации весной (по непарным предшественникам). ГМЦ, Е. С. Уланова.

Запасы влаги: 1 — хорошие (более 150 мм); 2 — удовлетворительные (120—150 мм); 3 — недостаточные (100—120 мм); 4 — плохие (менее 100 мм); 5 — даты возобновления вегетации озимой пшеницы весной.

2. Значение наименьшей влагоемкости, которое берется из данных агрогидрологического обследования почв того поля, по которому составляется прогноз. Если наименьшая влагоемкость для данного поля не определена, то можно использовать данные для других полей, или же принять во внимание осредненные значения для разных по механическому составу почв.

3. Сумма осадков, выпавших от даты последнего определения влагозапасов осенью до даты составления прогноза.

4. Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной.

5. Сумма осадков, ожидаемых за период от даты составления прогноза до даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной.

Эта сумма осадков определяется по средним месячным значениям, взятым из агроклиматического справочника с учетом долгосрочного прогноза погоды.

### *Последовательность выполнения расчетов*

Приводится пример расчета запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под зябью к началу сева яровых культур для зоны недостаточного увлажнения (Тамбовская область) с привлечением метеорологических данных для ст. Мичуринск осеннего периода 1970 г. и весны 1971 г.

1. Получить следующую информацию: 1) дата составления прогноза 11 марта; 2) запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на поле под зябью равны 119 мм; 3) дата последнего определения влажности почвы осенью 26 октября; 4) дата перехода средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  3 ноября; 5) наименьшая влагоемкость метрового слоя почвы на полях равна 190 мм.

2. Определить недостаток насыщения почвы влагой до наименьшей влагоемкости осенью:  $190 - 119 = 71$  мм.

3. Выписать из агроклиматического справочника средние многолетние запасы продуктивной влаги на весну для ст. Мичуринск. В данном случае  $W_{\text{в}} = 126$  мм.

4. Вычислить сумму осадков за период от последнего определения продуктивной влаги осенью до дня составления прогноза (с 26 октября до 11 марта).

Сумма осадков за указанный период определяется из метеорологических таблиц формы ТСХ-8. В данном примере сумма равна 217 мм.

5. Определить дату устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной.

Согласно данным агроклиматического справочника Тамбовской области, эта дата — 20 апреля.

6. Вычислить ожидаемую сумму осадков за период от даты составления прогноза (11 марта) до весеннего начала вегетации озимых зерновых культур (20 апреля).

Эти данные берутся из агроклиматического справочника с учетом прогноза погоды. По прогнозу погоды на март и апрель количество осадков предполагается равным примерно среднему многолетнему.

Сумма осадков за две декады марта и две декады апреля составляет:  $10 + 9 + 10 + 11 = 40$  мм.

7. Вычислить сумму осадков за период от последнего определения влажности осенью (26 октября) до весеннего начала вегетации зерновых культур (20 апреля):  $40 + 217 = 257$  мм.

8. Рассчитать ожидаемые изменения запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы  $\Delta W$  за тот же период (для ст. Мичуринск используется формула (13.1)):

$$\Delta W = 0,115 \cdot 257 + 0,56 \cdot 71 - 20 = 49 \text{ мм,}$$

где недостаток насыщения почвы влагой до наименьшей влагоемкости осенью  $d = 71$  мм.

9. Вычислить ожидаемые запасы продуктивной влаги в почве весной  $W_{\text{вес}}$  (на 20 апреля):

$$W_{\text{вес}} = W_{\text{ос}} + \Delta W,$$

$$W_{\text{вес}} = 119 + 49 = 168 \text{ мм.}$$

10. Дать оценку ожидаемых запасов влаги весной.

Для этого следует сравнить весенние запасы влаги  $W_{\text{вес}}$  с критериями запасов продуктивной влаги, предложенными Е. С. Улановой (рис. 13.1). Ожидаемые запасы влаги в данном примере равны 168 мм, что больше 150 мм. Запасы влаги хорошие.

Оценку ожидаемых запасов продуктивной влаги весной можно сделать методом сравнения  $W_{\text{вес}}$  с наименьшей влагоемкостью (190 мм) и со средними многолетними запасами влаги весной, наблюдаемыми на полях данной станции (126 мм). Эти отношения обычно выражают в процентах:

$$\frac{168}{190} \cdot 100 \% = 88 \% ; \quad \frac{168}{126} \cdot 100 \% = 133 \% .$$

Таблица 13.1

Расчетная форма для составления прогноза запасов влаги к весне по методу Разумовой

Станция Мичуринск, Тамбовская область

Показатель	Исходные данные	Вычисленные данные
Запасы продуктивной влаги в метровом слое, мм	119	
Наименьшая влагоемкость почвы, мм	190	
Сумма осадков от осени до составления прогноза, мм	217	
Дефицит влаги метрового слоя, мм		71
Изменение запасов влаги за осенне-весенний период, мм		49
Запасы влаги, ожидаемые весной:		
мм		168
% от наименьшей влагоемкости		88
% от средних многолетних запасов		133

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Весенние запасы влаги достаточно хорошие, так как превышают средние многолетние на 33 %.

11. Определить по атласу запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на третью декаду апреля под озимыми зерновыми культурами по своему району.

12. Занести исходные данные и результаты расчетов в табл. 13.1.

Исходные данные для выполнения работы 24:

Показатели для выполнения работы	Вариант		
	1	2	3
1. Последнее определение влажности почвы осенью, дата	25 X	5 XI	10 XI
2. Запасы продуктивной влаги осенью, мм	95	110	115
3. Наименьшая полевая влагоемкость, мм	200	180	185
4. Осадки за период от последнего определения влажности почвы до составления прогноза, мм	110	160	120
5. Переход средней суточной температуры воздуха через 5°C весной (по прогнозу)	15 IV	20 IV	20 IV
6. Осадки за период от составления прогноза до перехода температуры через 5°C весной (по прогнозу)	50	35	30
7. Многолетние средние запасы влаги при переходе температуры через 5°C, мм	120	160	150
8. Дата составления прогноза	11 III	5 III	10 III

*Примечание.* Расчет следует вести для районов с устойчивой зимой (варианты 1, 3) и для районов с неустойчивой зимой (варианты 1, 2).

### Контрольные вопросы

1. Для каких районов составляется прогноз запасов влаги к началу вегетационного периода?

2. Как оценить ожидаемые запасы продуктивной влаги?

3. Для какой цели делают прогноз запасов продуктивной влаги?

4. Какие исходные данные используются в расчете ожидаемых весенних запасов продуктивной влаги?

5. По какому уравнению рассчитывается изменение запасов продуктивной влаги за осенне-зимний период?

## Работа 25. Прогноз сроков цветения плодовых культур

*Исходные данные:* агроклиматический справочник области, справочник по агроклиматическим ресурсам области, декадные метеорологические сведения (форма ТСХ-8), прогноз погоды за апрель или май.

Методика составления фенологического прогноза основана на зависимости темпов развития растений от теплового фактора.

Развитие растений происходит только при определенном уровне тепла. Для каждого вида растений существует свой нижний предел температуры, при котором начинается их развитие. Так, для плодово-ягодных культур нижним пределом развития (биологическим нулем) считается  $5^{\circ}\text{C}$ .

Потребность растений в тепле можно выразить суммой эффективных температур воздуха выше  $5^{\circ}\text{C}$ .

Продолжительность периодов между фазами развития растений А. А. Шигелев предложил определять по сумме эффективных температур, необходимых для прохождения растениями каждого из этих периодов. Эффективная температура представляет собой среднесуточную температуру воздуха, уменьшенную на начальную температуру роста, т. е. на  $5^{\circ}\text{C}$  — биологический нуль.

Сумма эффективных температур определяется путем суммирования средних суточных температур воздуха, уменьшенных на значение биологического минимума:

$$\sum t_{\text{эф}} = (t - t_0) n, \quad (13.3)$$

здесь  $\sum t_{\text{эф}}$  — сумма эффективных температур за  $n$  дней,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t$  — средняя суточная температура за период  $n$  дней,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0$  — начальная температура развития, т. е. биологический нуль,  $^{\circ}\text{C}$ . Для плодовых культур  $t_0 = 5^{\circ}\text{C}$ .

Для многих сортов яблони, культивируемых в зоне умеренного климата Европейской части, сумма эффективных температур от начала вегетации до начала цветения равна  $(185 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ , а до конца цветения  $(310 \pm 25)^{\circ}\text{C}$ . Груша начинает зацветать при накоплении суммы эффективных температур  $(125 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ . Абрикос зацветает при сумме температур воздуха  $90^{\circ}\text{C}$ .

Для определения даты начала и конца цветения плодовых деревьев необходимо вычислить дату, к которой накопится соответствующая сумма эффективных температур. Для районов с устойчивой зимой суммы эффективных температур подсчитывают с момента устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$ , а для районов с неустойчивой зимой — с 1 января, причем в случае похолодания накопившуюся сумму эффективных температур до похолодания учитывают при дальнейшем подсчете после похолодания.

Расчет ожидаемых сроков цветения яблони составляется в следующей декаде после набухания почек.

Дату наступления фазы цветения плодовых растений можно определить методом последовательного суммирования средних суточных эффективных температур до определенной константы. Датой начала цветения является следующий день после даты, на которую накопится определенная сумма эффективных температур (для яблони — 185 °С).

При подсчете суммы эффективных температур этим методом от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5 °С до даты составления прогноза используют данные о температуре воздуха, взятые из агрометеорологических таблиц формы ТСХ-8 для ближайшей станции. Недостающую до константы сумму эффективных температур добирают из областного агроклиматического справочника с учетом прогноза погоды на ближайший месяц.

Для определения даты наступления фазы начала цветения плодовых растений используют уравнение, предложенное А. А. Шигелевым:

$$D = D_1 + \frac{A}{t - B}. \quad (13.4)$$

Если прогноз составляется значительно позже перехода температуры воздуха через 5 °С, то расчеты производят по формуле

$$D = D_2 + \frac{A - \sum t_{\text{эф}}}{t - B}. \quad (13.5)$$

В этих формулах  $D$  — ожидаемая дата наступления фазы (начало цветения);  $D_1$  — дата возобновления вегетации плодовых культур (дата устойчивого перехода среднесуточной температуры через 5 °С);  $D_2$  — дата составления более позднего прогноза;  $A$  — сумма эффективных температур выше 5 °С, при которой начинается цветение (константа);  $t$  — средняя температура воздуха за прогнозируемый период  $n$ , °С;  $B$  — начальная температура развития, т. е. биологический минимум, равный для плодовых растений 5 °С;  $\sum t_{\text{эф}}$  — сумма эффективных температур, накопившаяся от даты перехода температуры через 5 °С до даты составления прогноза, °С.

При составлении такого прогноза подсчет сумм эффективных температур приходится делать частично по наблюдаемым данным, а частично по прогнозируемым.

Для вычисления средней температуры воздуха следует использовать данные о температуре воздуха от даты устойчивого перехода температуры через 5 °С в текущем году до средней многолетней даты начала цветения плодовой культуры в этом районе.

Рельеф местности может изменить температурные условия, что отразится на сроках начала цветения плодовых культур. Сады, расположенные на южном склоне, зацветут на 1—2 дня раньше, чем на равнине, а на северном склоне — на 2—3 дня позже, чем на равнине.

Колебания допустимой ошибки прогноза даты цветения плодовых культур в Европейской части РФ достигают  $\pm 4$  дня в райо-

нах, расположенных к югу от Москвы, и  $\pm 7$  дней в районах, расположенных к северу от Москвы.

### *Последовательность выполнения расчетов*

Составим прогноз по данным наблюдений на ст. Мичуринск (Тамбовская обл.) за 1988 г.

#### *1. Метод суммирования эффективных температур*

1. Определить дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной.

Устойчивый переход температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  на ст. Мичуринск наблюдался 17 апреля.

2. Вычислить среднесуточную температуру воздуха за период от даты начала вегетации до даты составления прогноза (от 17 до 25 апреля).

Среднесуточные температуры за указанный период берутся из метеорологических бюллетеней формы ТСХ-8 по ст. Мичуринск:

$$\bar{t} = (5,4 + 7,8 + 11,2 + 10,6 + 13,6 + 14,3 + 13,3 + 10,0) : 8 = 10,8^{\circ}\text{C}.$$

3. Определить сумму эффективных температур воздуха за тот же период:

$$\sum t_{\text{эф}} = (10,8 - 5) \cdot 8 = 46,4^{\circ}\text{C}.$$

Сумма  $46,4^{\circ}\text{C}$  значительно меньше константы ( $A = 185^{\circ}\text{C}$ ), поэтому недостающая сумма эффективных температур набирается из агроклиматического справочника с учетом прогноза погоды на последние дни апреля и всего мая.

По прогнозу погоды за указанный период ожидается значительное потепление. Температура воздуха будет превышать многолетнюю норму на  $2^{\circ}\text{C}$ .

4. Вычислить сумму эффективных температур с 25 по 30 апреля.

В третьей декаде апреля температура воздуха с учетом прогноза погоды будет равна  $9,2 + 2 = 11,2^{\circ}\text{C}$ ;

$$\sum t_{\text{эф}} = (11,2 - 5) \cdot 6 = 37,2^{\circ}\text{C}.$$

Здесь 6 — число дней в указанном периоде.

5. Определить сумму эффективных температур с 17 по 30 апреля:

$$46,4 + 37,2 = 83,6^{\circ}\text{C}.$$

6. Вычислить сумму эффективных температур за первую декаду мая:

$$(14,0 - 5) \cdot 10 = 90,0^{\circ}\text{C},$$

где  $14,0^{\circ}\text{C}$  — среднесуточная температура воздуха за первую декаду мая с учетом прогноза погоды.

7. Определить общую сумму эффективных температур за период от 17 апреля по 10 мая:

$$83,6 + 90 = 173,6^{\circ}\text{C}.$$

8. Вычислить недостающую до константы сумму эффективных температур по температуре второй декады мая.

По данным агроклиматического справочника с учетом прогноза погоды среднесуточная температура воздуха во второй декаде мая равна  $15,9^{\circ}\text{C}$ ;

$$\sum t_{\text{эф}} = (15,9 - 5) \cdot 2 = 21,8^{\circ}\text{C}.$$

Здесь 2 — означает число первых двух дней второй декады.

9. Определить итоговую сумму эффективных температур, необходимую для фазы начала цветения яблони:

$$173,6 + 21,8 = 195,4^{\circ}\text{C}.$$

В результате подсчета получается, что необходимая сумма эффективных температур для начала цветения яблони ( $185^{\circ}\text{C}$ ) накопится 12 мая.

Датой наступления прогнозируемой фазы считается следующий день после накопления  $\sum t_{\text{эф}}$ , т. е. цветение яблони ожидается 13 мая.

Допустимая ошибка отклонений фактических и рассчитанных сроков составляет  $\pm 4$  дня.

10. Уточнить даты начала цветения яблони с учетом рельефа местности, занятой под садом.

В данном случае мичуринские сады расположены на ровном месте, поэтому поправки на дату цветения не вводятся.

11. Сравнить вычисленную дату начала цветения яблони с многолетней датой наступления этой фазы.

Для ответа на поставленный вопрос следует определить из агроклиматического справочника области сроки цветения яблони и сравнить их с расчетной датой.

В нашем примере дата начала цветения яблони Мичуринских сортов 17 мая. Цветение яблони весной ожидается на 4 дня раньше многолетней даты ( $17 - 13 = 4$ ).

12. Записать в табл. 13.2 исходные данные и результаты расчетов.

## II. Расчет сроков цветения яблони по средней температуре воздуха по формуле (13.4)

1. В нашем случае  $D_1$  — 24 апреля 1988 г.,  $A = 185^{\circ}\text{C}$ ,  $B = 5^{\circ}\text{C}$ .

Ожидаемая дата наступления фазы начала цветения яблони  $D$  зависит от среднесуточной температуры воздуха  $\bar{t}$  за прогнозируемый период (от даты устойчивого перехода температуры через  $5^{\circ}\text{C}$  до начала цветения яблони).



Связь урожайности  $Y$  с запасами влаги  $W$  в слое почвы 0—50 см при разной площади листовой поверхности  $S$

Уравнение регрессии	$S$ тыс. м <sup>2</sup> /га
$Y = -0,0071 W^2 + 1,4 W - 3,2$	30
$Y = 1,006 W^2 + 1,1 W - 4,2$	20
$Y = -1,0029 W^2 + 0,53 W - 1,5$	10

Аналогичные уравнения получены для других площадей листовой поверхности в пределах до 30 тыс. м<sup>2</sup>/га. На этой основе составлен график (рис. 13.2).

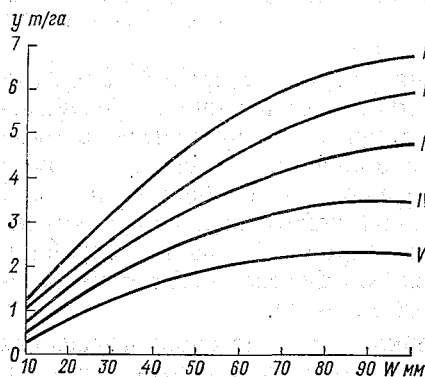


Рис. 13.2. Зависимость урожайности зерна кукурузы  $y$  от запасов продуктивной влаги  $W$  в фазу выметывания метелки при разной площади листовой поверхности.

I — 30 тыс. м<sup>2</sup>/га, II — 25, III — 20, IV — 15, V — 10 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Площадь листьев одного растения определяют по предложенной Ю. И. Чирковым формуле

$$S_1 = 36,94h - 1632,8, \quad (13.6)$$

где  $S_1$  — площадь листьев одного растения, см<sup>2</sup>;  $h$  — высота стебля растения с метелкой, см.

Формула применима для растений высотой от 50 до 250 см.

Для расчета площади листовой поверхности на один гектар умножают площадь листьев одного растения, выраженную в м<sup>2</sup> на число растений на одном гектаре. Выражается она в тыс. м<sup>2</sup>/га.

По значениям запасов продуктивной влаги  $W$  и площади листовой поверхности  $S$  по графику рис. 13.2 определяется урожайность зерна. По оси абсцисс откладываются запасы продуктивной влаги в почве, по оси ординат — урожайность. Оправдываемость прогноза по валовому сбору зерна составляет около 90 %.

Поскольку на формирование урожая зерна кукурузы влияет температура воздуха, в расчет вводятся поправки (табл. 13.4).

Учет поправочных коэффициентов весьма существен при высоких температурах воздуха (днем выше 30 °С) и низкой влажности

Таблица 13.4

Поправочные коэффициенты к расчетной урожайности на температурные условия в течение месяца после выметывания метелки

Запасы продуктивной влаги, мм	Средняя за период температура воздуха, °С				
	16	18	20	22	24
100	0,68	0,86	0,97	1,00	0,96
80	0,72	0,88	0,99	0,98	0,90
60	0,78	0,90	1,00	0,93	0,80
40	0,84	0,93	0,97	0,86	0,66
20	0,90	0,92	0,90	0,80	0,50

почвы (меньше 20 мм в слое 0—50 см). Такие условия сопровождаются значительным снижением урожайности зерна кукурузы.

Предлагаемый метод позволяет проводить расчет урожайности зерна кукурузы на конкретной агрометстанции, обслуживающей определенный административный район.

#### Последовательность выполнения расчетов

При выполнении расчетов используются метеорологические условия на ст. Мичуринск и фенологические наблюдения за развитием кукурузы в 1989 г.

**Необходимая информация:** 1) дата наступления фазы выметывания (20 июля); 2) густота посевов кукурузы (30 тыс. растений на 1 га); 3) высота растений на дату выметывания (190 см); 4) запасы продуктивной влаги в слое почвы 0—50 см в декаду наступления фазы выметывания (75 мм).

1. Записать в табл. 13.5 необходимые данные для расчета прогноза урожайности кукурузы.

Таблица 13.5

Исходные и расчетные данные по прогнозу урожайности зерна кукурузы  
Станция Мичуринск. Дата составления прогноза 21 июля 1989 г.

Показатель	Значение
Продуктивная влага для 0—50-см слоя почвы, мм	75
Густота посева, тыс. раст/га	30
Высота растений, см	190
Площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	16,2
Температура после фазы выметывания, °С	19,0
Ожидаемая урожайность, т/га	3,2

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

2. Рассчитать площадь листовой поверхности [(формула (13.6)]:

$$S_1 = 36,94 \cdot 190 - 1632,8 = 5385,8 \text{ см}^2 = 0,539 \text{ м}^2.$$

3. Вычислить площадь листовой поверхности на 1 га:

$$S = S_1 n \text{ [м}^2\text{/га]},$$

где  $n$  — число растений на 1 га;

$$S = 0,539 \text{ м}^2 \cdot 30 \text{ тыс/га} = 16,2 \text{ тыс. м}^2\text{/га.}$$

4. Определить ожидаемую урожайность зерна кукурузы.

Урожайность зерна определяется по запасам влаги 75 мм (ось абсцисс) и кривой рис. 13.2 для площади листьев, равной 16,2 тыс. м<sup>2</sup>/га. Кривая для этой площади листьев располагается выше четвертой линии. По приведенным данным урожайность равна 3,4 т/га (ось ординат).

5. Ввести в ожидаемую урожайность поправку на температуру воздуха за период формирования элементов продуктивности початка.

Температура воздуха за август определяется из агроклиматического справочника с учетом прогноза погоды на август.

Для Мичуринска температура за август равна 19,0 °С.

По значениям температуры (19,0 °С) и ожидаемым запасам продуктивной влаги (60 мм) из табл. 13.4 определяется значение поправочного коэффициента (0,95).

Ожидаемая урожайность зерна с учетом температурных условий будет равна:  $y = 3,4 \cdot 0,95 = 3,23$  т/га.

6. Занести в табл. 13.5 исходные и расчетные данные по прогнозу.

7. Записать контрольные вопросы и подготовить ответы на них.

### *Контрольные вопросы*

1. Какое значение имеют агрометеорологические прогнозы в сельскохозяйственном производстве?

2. Какая агроклиматическая и агрометеорологическая информация используется в расчетах прогнозов урожайности зерна кукурузы?

3. Как определить площадь листовой поверхности на 1 га?

4. Какую роль играет температура воздуха в формировании урожайности кукурузы?

5. Почему позднеспелые сорта кукурузы не выращивают в Центрально-Черноземной зоне РФ?

### **Работа 27. Прогноз урожайности озимой пшеницы**

*Исходные данные:* фенологические наблюдения за озимой пшеницей, сведения о весенних запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы, агрометеорологические условия весенне-летнего периода.

На формирование урожая сельскохозяйственных культур влияет множество факторов, имеющих различную значимость и

изменчивость во времени. По изменчивости эти факторы можно разделить на три группы:

1) факторы устойчивые: местонахождение, механический состав почв, фенологические особенности растений и т. п.;

2) факторы, изменение которых от года к году оказывает положительное влияние, — это факторы, связанные с ростом культуры земледелия (внесение удобрений, мелиорация, механизация и др.);

3) факторы, изменение которых во времени влияет положительно или отрицательно на формирование урожая; к ним относятся метеорологические факторы и состояние растений и посевов (густота посевов, площадь листовой поверхности, число колосонных стеблей и т. п.).

Для прогноза урожая необходимо учитывать в первую очередь факторы третьей группы, выбирая из них в качестве предикторов основные и лимитирующие. Связи из этих факторов с урожайностью устанавливают статистическими методами и выражают в виде прогностических уравнений. Вторая группа факторов, отражающая влияние агротехники, учитывается как корректирующая результаты решения прогностических уравнений, т. е. вносится поправка на тенденцию роста урожайности, которая выражается линией тренда. В настоящее время линии тренда рассчитаны для многих культур.

Таким образом, научной основой методов агрометеорологических прогнозов урожая является биологически обоснованные и выраженные численно зависимости роста, развития и продуктивности растений от метеорологических условий, динамики запасов почвенной влаги, уровня агротехники.

Важнейшими факторами жизни растений являются питательные вещества, свет, тепло и влага. Не все эти факторы ежегодно наблюдаются в оптимуме, что не дает возможности постоянно получать устойчивые и высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Основные площади озимой пшеницы — этой ценнейшей продовольственной культуры — сосредоточены в районах плодородных черноземных почв, богатых питательными веществами. Света и тепла в этих районах бывает вполне достаточно для созревания озимой пшеницы.

Главным фактором являются запасы продуктивной влаги в почве, которые во многие годы бывают недостаточными для озимой пшеницы в этих районах.

Значительные колебания урожаев озимой пшеницы по годам связаны главным образом с колебаниями режима влажности почвы и состояния озимой пшеницы в разные по условиям перезимовки годы. В благоприятные по условиям водоснабжения и перезимовки годы урожаи озимой пшеницы бывают очень высокими и достигают 40—60 ц/га в хозяйствах с передовой агротехникой. При низких запасах влаги урожаи резко снижаются — до 8—10 ц/га.

Запасы продуктивной влаги в районах, где тепла бывает достаточно, являются главным инерционным фактором, определяющим не только настоящее, но будущие условия формирования урожая озимой пшеницы. Кроме того, они являются интегральным показателем агрометеорологических условий, так как количество влаги в почве есть функция целого комплекса факторов.

На основании анализа большого материала наблюдений Улановой были установлены показатели оценки запасов продуктивной влаги метрового слоя почвы для районов черноземных почв, которые обеспечивают различную урожайность — от высокой до низкой (см. табл. 10.4).

Особенно большое значение для озимой пшеницы имеют весенние запасы влаги в почве, которые являются основным водным ресурсом создания ее будущего урожая.

Вторым инерционным фактором является состояние самой культуры, которое при учете условий водоснабжения в этих районах позволяет определить будущий урожай.

Как бы ни были благоприятны условия погоды для озимой пшеницы весной и летом, но если в зимний период отмечалась большая изреженность озимой пшеницы, то ясно, что высокого урожая получить нельзя.

Третьим фактором для урожайности озимой пшеницы является ее высота от фазы колошения.

Четвертым по значимости фактором для урожайности озимой пшеницы является продолжительность периодов от возобновления вегетации до выхода в трубку и от молочной до восковой спелости, а также от колошения до восковой спелости.

Суммы осадков, число дней с осадками и суммарное испарение по основным межфазным периодам также влияют на урожайность.

Таким образом, для прогноза будущей урожайности озимой пшеницы главное определяющее значение в большинстве лет имеют число стеблей на 1 м<sup>2</sup> весной, в период роста стебля и в фазу колошения, запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы, а также продолжительность межфазных периодов, температура воздуха, осадки, суммарное испарение, особенно в период от возобновления вегетации до колошения, и число колосков в колосе.

Е. С. Улановой был проведен анализ сопряженных данных урожая озимой пшеницы с метеорологическими факторами и были найдены прогностические зависимости урожайности от весенних запасов влаги в метровом слое почвы с учетом разного числа стеблей, сохранившихся после перезимовки.

Прогноз урожайности озимой пшеницы отдельного поля для сортов типа Безостая 1 и Мироновская 808 в декаду весеннего обследования посевов можно рассчитать по уравнению

$$Y = 0,0059W + 0,0024n - 0,297, \quad (13.7)$$

где  $Y$  — ожидаемая урожайность, т/га;  $W$  — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду возобновления вегетации, мм;  $n$  — число стеблей на 1 м<sup>2</sup>, сохранившихся после перезимовки.

Число стеблей у озимой пшеницы в течение весенне-летней вегетации не остается постоянным, но число стеблей весной является как бы потенциальным резервом числа колосоносных стеблей в будущем.

Урожай озимой пшеницы значительно возрастают с увеличением числа стеблей весной примерно от 500 до 1000 на 1 м<sup>2</sup>; при числе стеблей весной от 1000 до 2000 на 1 м<sup>2</sup> урожай находится примерно на одном уровне и зависит только от агрометеорологических условий; при числе стеблей более 2000 урожай снижается вследствие сильной загущенности посевов.

В фазу выхода в трубку ожидаемая урожайность определяется по уравнению

$$Y = -2,44 + 0,03W - 10^{-4}W^2 + 0,004n - 10^{-6}n^2 + 0,052t - 0,002t^2 - 0,002r + 10^{-4}r^2, \quad (13.8)$$

где  $Y$  — ожидаемая урожайность, т/га;  $W$  — средние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы за период возобновление вегетации — выход в трубку, мм;  $n$  — число стеблей на 1 м<sup>2</sup> в фазу выхода в трубку;  $t$  и  $r$  — соответственно средняя температура (°C) и количество осадков (мм) за тот же период.

Обеспеченность ожидаемой урожайности, рассчитанной по уравнению (13.8), составляет 87 %.

В период начала фазы колошения озимой пшеницы высокую обеспеченность (90 %) дает уравнение (13.9), по которому можно рассчитать ожидаемую урожайность  $Y$  (т/га) с месячной заблаговременностью в зависимости от запасов влаги в метровом слое почвы весной  $W$  (мм), от числа колосоносных стеблей на 1 м<sup>2</sup> в фазу колошения  $n$ , от суммы осадков за период возобновление вегетации — колошение  $r$  (мм), от средней температуры за этот же период  $t$  (°C) и от высоты озимой пшеницы в фазу колошения  $h$  (см):

$$Y = -4,28 + 0,035W - 1,1 \cdot 10^{-4}W^2 + 0,002n - 7 \cdot 10^{-7}n^2 - 4 \cdot 10^{-4}r - 2 \cdot 10^{-5}r^2 + 0,33t - 0,015t^2 + 0,024h + 4 \cdot 10^{-7}h^2. \quad (13.9)$$

В очень засушливые годы с сильными суховеями в период цветения — восковая спелость, необходимо уточнить прогноз в фазу молочной спелости. Расчетное уравнение имеет вид

$$Y = -0,708 + 0,004W - 0,003r_1 + 0,0004r_2 + 0,002n + 0,024h, \quad (13.10)$$

где  $W$  — запасы продуктивной влаги в декаду возобновления вегетации, мм;  $r_1$  — количество осадков в период от возобновления вегетации до цветения, мм;  $r_2$  — количество осадков в период от цветения до восковой спелости, мм;  $n$  — число колосоносных стеблей в фазу молочной спелости на 1 м<sup>2</sup>;  $h$  — высота растений в фазу молочной спелости, см.

Изложенные закономерности и приведенные прогностические уравнения правомерны только для районов черноземных почв.

### *Последовательность выполнения расчетов*

Расчет ожидаемой урожайности по отдельному полю хозяйства проведем на примере наблюдаемого агрометеорологического участка метеостанции Мичуринск.

1. Получить данные весеннего обследования полей озимых культур и метеорологическую информацию формы ТСХ-8 за апрель.

Число стеблей, сохранившихся после перезимовки, составляло 850 на 1 м<sup>2</sup>. Запасы продуктивной влаги в метровом слое равнялись 180 мм.

2. Вычислить ожидаемую урожайность озимой пшеницы сорта Мироновская 808 [уравнение (13.7)]:

$$У = 0,0059 \cdot 180 + 0,0024 \cdot 850 - 0,297 = 2,81 \text{ т/га.}$$

3. Вычислить ожидаемую урожайность в фазу выхода в трубку.

В 1990 г. по ст. Мичуринск фаза выхода в трубку у озимой пшеницы наблюдалась 11 мая. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы к этому периоду снизились до 160 мм.

Количество осадков за период от возобновления вегетации (13 апреля) до фазы выхода в трубку (11 мая) по метеорологическим таблицам формы ТСХ-8 составляло 35 мм; средняя температура воздуха за этот же период равнялась 9,2 °С.

Число стеблей в фазу выхода в трубку сократилось до 750 на 1 м<sup>2</sup>. Расчет проводится по уравнению (13.8):

$$У = -2,44 + 0,03 \cdot 160 - 10^{-4} \cdot 160^2 + 0,004 \cdot 750 - 10^{-6} \cdot 750^2 + \\ + 0,052 \cdot 9,2 - 0,002 \cdot 9,2^2 - 0,002 \cdot 35 + 10^{-4} \cdot 35^2 = 3,0 \text{ т/га.}$$

4. Сравнить ожидаемую урожайность озимой пшеницы с урожайностью, полученной в прошлом году.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие общие факторы влияют на формирование урожая сельскохозяйственных культур?

2. Что такое лимитирующие и инерционные факторы, используемые в прогнозах урожайности озимых культур?

3. Почему весенние запасы продуктивной влаги являются главными в формировании урожайности зерновых?

4. Какая агрометеорологическая и агроклиматическая информация используется в расчетах прогнозов урожайности озимой пшеницы?

5. Какое уравнение прогноза урожайности озимой пшеницы используется в период возобновления вегетации?

### **Работа 28. Агрометеорологический прогноз качества зерна озимой пшеницы**

*Исходные данные:* агрометеорологические декадные сведения (форма ТСХ-8); областной агроклиматический справочник; фенологические наблюдения за весенними фазами развития озимой

пшеницы; запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы; месячный или сезонный прогноз погоды.

Качество урожая зерна озимой пшеницы определяется содержанием в нем белка и клейковины.

Накопление белка в зерне злаковых растений происходит в результате использования азотистых веществ, накопленных в вегетационных органах до начала налива зерна и поглощения азота из почвы в период налива зерна. Поэтому агрометеорологические условия уже на ранних этапах развития растений, влияя на накопление азотистых веществ в листьях и стеблях, влияют и на качество зерна.

Увеличение продолжительности периода от колошения до созревания, а также количества выпавших осадков и запасов влаги в почве, способствуют накоплению в зерне большого количества углеводов, что в конечном итоге приводит к снижению относительного содержания белка и клейковины в зерне. И наоборот, снижение влажности воздуха и почвы, повышение температуры окружающей среды, стимулируют образование в растении и зерне вещества белкового комплекса. Таким образом, жаркая сухая погода способствует улучшению качества зерна.

Методика прогноза содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы для условий Центрально-Черноземного района разработана В. Н. Страшным. В результате анализа влияния агрометеорологических условий получены уравнения зависимости содержания белка и клейковины от метеорологических условий для различных предшественников (в процентах).

Для определения содержания белка в зерне пшеницы по чистому пару для сортов Мироновская 808, Юбилейная 50 и др. служит уравнение

$$y_6 = 9,52 + 0,27A - 0,01W + 0,16d - 0,002n + 0,09t, \quad (13.11)$$

по различным предшественникам — уравнение

$$y_6 = 6,71 + 0,19A - 0,02W + 0,30d - 0,004n + 0,32t. \quad (13.12)$$

Для определения содержания клейковины в зерне по чистому пару применяют уравнение

$$y_k = 21,94 + 0,44A - 0,03W - 0,006n + 0,24t + 0,33d, \quad (13.13)$$

по предшественникам — уравнение

$$y_k = 7,35 + 0,56A - 0,04W + 0,63d - 0,010n + 0,88t, \quad (13.14)$$

где  $y_6$  и  $y_k$  — соответственно процентное содержание белка и клейковины в зерне пшеницы;  $A$  — среднесуточная амплитуда температуры воздуха за период от возобновления вегетации до начала активной вегетации (переход средней суточной температуры через  $10^\circ\text{C}$ );  $W$  — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало активной вегетации;  $d$  — средний дефицит насыщения воздуха водяными парами за период от начала активной вегета-



ции до колошения пшеницы;  $n$  — число колосоносных стеблей;  $t$  — средняя температура воздуха за период колошение — восковая спелость.

Уравнения применимы в пределах изменения средних значений:  $A$  от 6 до 12 °С;  $W$  от 110 до 240 мм;  $d$  от 5 до 14 гПа;  $n$  от 350 до 900 колосоносных стеблей;  $t$  от 16 до 23 °С.

Расчет ожидаемого содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы производят после наступления фазы колошения. Оправдываемость прогноза 80—86 %.

#### *Последовательность выполнения расчетов*

При определении содержания белков и клейковины в зерне озимой пшеницы сорта Мироновская 808 по чистому пару используем агрометеорологические сведения для ст. Мичуринск (Центрально-Черноземный район) и фенологические наблюдения за фазами развития пшеницы в 1989 г.

Расчет проводим 11 июля, т. е. после даты колошения пшеницы.

1. Определить количество колосоносных стеблей пшеницы в фазу колошения.

Массовое колошение растений озимой пшеницы отмечено 4 июня.

Количество колосоносных стеблей  $n = 590$  на 1 м<sup>2</sup>.

2. Определить даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5 и 10 °С.

Из декадных метеорологических таблиц формы ТСХ-8 искомые даты для ст. Мичуринск — 11 и 23 апреля. Период между этими датами составляет 13 дней.

3. Получить информацию о запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало активной вегетации пшеницы (третья декада апреля). В нашем примере запасы влаги составили 150 мм ( $W = 150$  мм).

4. Рассчитать средний дефицит влажности воздуха за период от даты перехода температуры воздуха через 10 °С (23 апреля) до даты массового колошения пшеницы (4 июня).

В метеорологических декадных таблицах ТСХ-8 дефицит влажности воздуха  $d$  отсутствует. Его можно вычислить по средним суточным температурам и относительной влажности воздуха. Вычисление  $d$  производится следующим образом:

1) определить среднюю суточную температуру воздуха за период с 23 апреля по 4 июня:

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{n} = \frac{636,7}{43} = 14,8 \text{ °С};$$

2) найти давление насыщенного водяного пара  $E$  по средней температуре воздуха (для температуры  $t = 14,8$  °С,  $E = 16,8$  гПа);

3) вычислить среднюю относительную влажность воздуха за указанный период:  $f = 2697/43 = 63$  %;

4) определить среднюю упругость водяного пара за период по значениям  $f$  и  $E$ :  $e = f \cdot E : 100 = 63 \cdot 16,8 : 100 = 10,6$  гПа.

5) определить средний дефицит влажности воздуха  $d$  за период:  $d = E - e$ ,  $d = 16,8 - 10,6 = 6,2$  гПа.

Итак, для Мичуринска средний дефицит влажности  $d$  за период с 23 апреля по 4 июня равен 6,2 гПа.

5. Определить число колосоносных стеблей  $n$  на  $1 \text{ м}^2$  в фазу массового колошения пшеницы.

По данным наблюдениям количество стеблей на  $1 \text{ м}^2$   $n = 590$ .

6. Вычислить среднюю амплитуду температуры воздуха  $A$  за период от даты возобновления вегетации (4 апреля) до даты устойчивого перехода температуры через  $10^\circ\text{C}$ .

Дата устойчивого перехода температуры воздуха определяется из агроклиматического справочника с учетом прогноза погоды на апрель (для Мичуринска эта дата — 29 апреля).

Средняя амплитуда рассчитывается делением разности сумм максимальных и минимальных температур воздуха на число дней периода  $n$ .

Для Мичуринска  $N = 29 \text{ IV} - 3 \text{ IV} = 26$ ;

$$A = (t_{\text{макс}} - t_{\text{мин}}) : N,$$

$$A = (386,1 - 95,3) : 26 = 11,2^\circ\text{C}.$$

7. Определить дату наступления восковой спелости озимой пшеницы.

Дата наступления фазы восковой спелости определяется из агроклиматического справочника. В Мичуринске дата восковой спелости приходится на 16 июля.

8. Вычислить ожидаемую температуру воздуха  $t$  за период колошение — восковая спелость (для Мичуринска с 4 июня по 16 июля).

Данная температура рассчитывается по многолетним климатическим температурам с учетом прогноза погоды на июль.

Средняя месячная температура воздуха ожидается в июле выше средних многолетних значений на  $1^\circ\text{C}$ :

$$t = \frac{20,8 \cdot 7 + 20,9 \cdot 10 + 21,2 \cdot 10 + 20,8 \cdot 10 + 19,2 \cdot 6}{7 + 10 + 10 + 10 + 6} = 22,1^\circ\text{C}.$$

9. Вычислить ожидаемое содержание белка и клейковины в зерне озимой пшеницы [уравнения (13.11) и (13.13)]:

$$y_b = 0,27 \cdot 11,2 - 0,01 \cdot 150 + 0,16 \cdot 6,2 - 0,002 \cdot 590 + \\ + 0,09 \cdot 22,1 + 9,52 = 12,9 \%;$$

$$y_k = 21,94 + 0,44 \cdot 11,2 - 0,03 \cdot 150 + 0,33 \cdot 6,2 - \\ - 0,006 \cdot 590 + 0,24 \cdot 22,1 = 20,9 \%.$$

10. Дать характеристику качества зерна озимой пшеницы.

### *Контрольные вопросы*

1. Какими показателями оценивается хлебопекарное качество муки озимой пшеницы?
2. Какие метеорологические факторы влияют на содержание белка и клейковины в зерне пшеницы?
3. Как определить средний дефицит влажности воздуха за какой-либо период?
4. Влияют ли агротехнические мероприятия на содержание белка и клейковины в зерне пшеницы?
5. Назовите уравнения для определения белка и клейковины в зерне озимой пшеницы.

## Глава 14. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОГРАММИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ

### 14.1. Учет климатических и метеорологических условий в программировании урожайности

Под *программированием урожайности* понимается разработка комплекса агротехнических, технологических и организационных мероприятий, обеспечивающих высокоинтенсивное ведение земледелия, ежегодное получение запланированного урожая всех сельскохозяйственных культур. Первой задачей программирования является выявление в данной почвенно-климатической зоне комплекса метеорологических факторов, влияющих на урожайность. Количественная оценка урожайности по агроклиматическим ресурсам дает возможность перейти к разработке комплекса агротехнических мероприятий, обеспечивающих ее получение.

Структура программирования урожая основана на десяти принципах, сформулированных академиком И. С. Шатиловым, четыре из которых предполагают использование погодно-климатических условий местности.

Первый принцип программирования урожайности заключается в определении гидротермического показателя продуктивности фитомассы для конкретного района возделывания сельскохозяйственных культур.

Основой всех агротехнических приемов является создание оптимальных условий для усвоения растениями солнечной энергии. От интенсивности, продолжительности фотосинтеза и коэффициента использования солнечной радиации зависят накопление органической массы и урожай.

Второй принцип программирования урожайности заключается в определении ее уровня в данной местности по коэффициенту использования растениями фотосинтетически активной радиации (ФАР).

Третий принцип программирования урожайности состоит в определении потенциальных возможностей культуры или сорта применительно к почвенно-климатическим условиям зоны.

Высокие урожаи возможны только при условии формирования растениями определенной фотосинтетической поверхности (фотосинтетического потенциала), который обеспечит получение рассчитанных уровней урожайности.

Следовательно, четвертый принцип программирования урожайности состоит в том, чтобы на поле, занятом растениями, сформировать соответствующий ее уровню фотосинтетический потенциал.

При использовании климатических данных в программировании урожайности необходимо в первую очередь учитывать те факторы, которые имеют наибольшую изменчивость во времени и по территории, обуславливая экстремальные условия и лимитируя продуктивность растений.

Наименьшей изменчивостью ( $\pm 10\%$ ) характеризуется ФАР. Отклонения от нормы сумм активных температур находятся в значительно больших пределах ( $\pm 600^\circ\text{C}$ ). Отклонение годовых сумм осадков от нормы в отдельные годы могут превышать  $200\%$ .

Поэтому программа получения высокого урожая, составленная на основании только климатических норм, будет давать существенную ошибку. При использовании климатических данных для программирования урожайности необходима корректировка программы в зависимости от сложившихся погодных условий данного года.

Целесообразно в программировании урожайности учитывать микроклимат сельскохозяйственных полей, поскольку различия метеорологических условий приводят к колебаниям урожаев в пределах одного хозяйства  $\pm (1,0 - 1,5)$  т/га.

## 14.2. Категории урожайности и их лимитирующие факторы

Первой задачей программирования является выявление в данной почвенно-климатической зоне комплекса метеорологических факторов, лимитирующих урожайность. Количественная оценка урожайности по агроклиматическим ресурсам местности дает возможность перейти к разработке комплекса агротехнических мероприятий, обеспечивающих ее получение.

Программирование урожаев начинается с обоснования величины *потенциальной урожайности*  $U_{пу}$  — урожайности, которую при соблюдении всех элементов принятой агротехники можно получить в идеальных почвенно-климатических условиях. Величина  $U_{пу}$  определяется биологическими особенностями культуры и сорта, их продуктивностью и способностью максимально использовать лучистую энергию солнца для синтеза органического вещества.

Потенциальная урожайность  $U_{пу}$  определяется по приходу и использованию ФАР в посевах. Расчетная потенциальная урожайность  $U_{пу}$  (т/га) абсолютно сухой биомассы определяется по формуле

$$U_{пу} = \frac{\sum Q_{ФАР} K_Q}{100q}, \quad (14.1)$$

где  $\sum Q_{ФАР}$  — сумма ФАР за период вегетации рассматриваемой культуры, МДж/га;  $K_Q$  — коэффициент полезного использования ФАР, %;  $q$  — калорийность единицы сухого органического вещества,  $q = 18 \cdot 10^3 - 20 \cdot 10^3$  МДж/т.

Коэффициент полезного использования солнечной энергии  $K_Q$  определяется отношением количества аккумулированной в урожае ФАР к поступающей и выражается в процентах:

$$K_Q = \frac{\sum Q'_{\text{ФАР}}}{\sum Q_{\text{ФАР}}} \cdot 100 \%, \quad (14.2)$$

где  $\sum Q_{\text{ФАР}}$  — сумма ФАР за период вегетации растений;  $\sum Q'_{\text{ФАР}}$  — сумма ФАР, затрачиваемая на фотосинтез.

Посевы по средним значениям  $K_Q$  разделяются на следующие группы (по А. А. Ничипоровичу):

Посевы	Значения $K_Q$
Обычно наблюдаемые . . . . .	0,5—1,5 %
Хорошие . . . . .	1,5—3,0 %
Рекордные . . . . .	3,5—5,0 %
Теоретически возможные . . . . .	6,0—8,0 %

Современные высокопродуктивные сорта сельскохозяйственных культур при благоприятных условиях и высокой агротехнике могут использовать и запасать в урожае 5—6 % ФАР, производственные же посевы зерновых культур имеют пока низкий процент использования (0,5—1,0 %).

Текущие сведения о приходе ФАР можно взять из декадного агрометеорологического бюллетеня. Средние многолетние значения ФАР за теплый период приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Месячные суммы суммарной ФАР (МДж/(м<sup>2</sup>·мес)) для некоторых пунктов Европы (по данным Х. А. Молдау, Ю. К. Росса и др.)

Станция	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Вегетационный период	
									t > 5 °C	t > 10 °C
Архангельск	113	205	264	302	285	201	96	38	1031	708
Екатеринбург	172	235	293	323	302	235	142	71	1316	1073
Смоленск	163	168	243	276	293	205	134	71	1253	1081
Москва	159	188	272	281	285	243	142	67	1399	1198
Минск	151	193	289	310	310	226	174	80	1446	1236
Мичуринск	162	194	246	301	298	262	166	76	1453	1238
Самара	180	265	314	348	324	268	159	88	1571	1399
Киев	151	197	289	323	360	264	180	105	1634	1441
Махачкала	155	239	331	318	318	285	180	155	1886	1684

Максимальный урожай любой культуры достигается при непрерывном поступлении таких важных факторов, как тепло, свет, влага, воздух и питание в оптимальных количествах и в соответствии с потребностями культурного растения и его сорта.

рассматриваемой культуры (табл. 14.5);  $\alpha$  и  $\omega$  — то же, что и в формуле (14.3).

Таблица 14.5

Зависимость коэффициента водопотребления  $K_v$  различных культур от увлажненности года для нечерноземной зоны

Культура	Год		
	влажный	средний	засушливый
Озимая пшеница	375—450	450—500	500—525
Озимая рожь	400—425	425—450	450—550
Яровая пшеница	350—400	400—465	435—500
Ячмень	375—425	435—500	470—530
Овес	435—480	500—550	530—590
Кукуруза (зеленая масса)	35—50	44—65	56—70
Картофель	80—85	110—115	120—200
Сахарная свекла	75—85	110—115	115—130

Расчет  $Y_{\text{коу}}$  можно проводить по весенним запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы  $W$  (мм) и по сумме осадков за вегетационный период  $r$  (мм):

$$Y_{\text{коу}} = \frac{10(W + \mu r)}{K_v} \quad (14.7)$$

Здесь 10 — множитель перевода осадков и продуктивной влаги из миллиметров в тонны на гектар;  $\mu$  — коэффициент использования осадков почвой (для горизонтального поля  $\mu = 0,8$ );  $K_v$  — коэффициент водопотребления (см. табл. 14.5).

Переход от урожайности  $Y_{\text{коу}}$  абсолютной сухой биомассы к основной продукции при стандартной влажности осуществляется по формуле

$$Y = \frac{100Y_{\text{коу}}}{(100 - \omega)\alpha} \quad (14.8)$$

Для районов, где лимитирующим фактором в получении высокой урожайности сельскохозяйственных культур являются термические условия, климатически обеспеченная урожайность рассчитывается по биоклиматическому потенциалу продуктивности (БКП). По данным Д. И. Шашко, БКП рассчитывается как отношение суммы температур воздуха выше  $10^\circ\text{C}$  в данной местности к  $1000^\circ\text{C}$  (сумма температур на северной границе полевого земледелия). Следовательно,

$$Y_{\text{коу}} = 0,1\beta \frac{\sum t_{>10^\circ\text{C}}}{1000} \quad (14.9)$$

где  $\beta$  — коэффициент, зависящий от коэффициента использования ФАР посевами. Значения  $\beta$ , определенные опытным путем, приведены ниже:

Коэффициент использования ФАР, % . . . . .	1,0	2,0	3,0
$\beta$ . . . . .	10	20	30

В каждом конкретном случае расчет величины  $У_{\text{коу}}$  целесообразно провести различными способами и из полученных значений выбрать меньшее. В качестве ориентировочной оценки за величину  $У_{\text{коу}}$  можно принять урожайность госсортучастков (ГСУ).

*Действительно возможная урожайность*  $У_{\text{дву}}$  — урожайность, которая при соблюдении агротехники теоретически может быть получена на конкретном поле при складывающихся метеорологических условиях и реальном уровне почвенного плодородия.

Величина  $У_{\text{дву}}$  (т/га) рассчитывается по урожайности  $У_{\text{коу}}$  с учетом благоприятных почвенных условий для возделывания той или иной культуры:

$$У_{\text{дву}} = k_{\text{п}} У_{\text{коу}}, \quad (14.10)$$

где  $k_{\text{п}}$  — безразмерный коэффициент, характеризующий степень благоприятности почвенных условий,  $k_{\text{п}} = 0 \dots 1$ . Этот коэффициент в первом приближении можно отождествить с бонитетом почвы  $B$ , выраженным в долях единицы:

$$У_{\text{дву}} = B У_{\text{коу}}. \quad (14.11)$$

Ввиду ежегодной изменчивости погодных условий действительно возможная урожайность испытывает ежегодные колебания. Поэтому расчет следует проводить не только для средних многолетних агрометеорологических условий, но и для условий, отвечающих разным уровням обеспеченности.

*Хозяйственная урожайность или урожайность в производстве*  $У_{\text{уп}}$  характеризует фактическую продуктивность посева на конкретном поле.

Величина  $У_{\text{уп}}$  — это хозяйственно-экономическая категория, определяющая уровень продуктивности, в расчете на который целесообразно планировать агротехнологию и рассчитывать основные агротехнические мероприятия.

Уровень урожайности, рассчитанный в конкретном хозяйстве чаще всего называют *программируемой урожайностью*  $У_{\text{пр. у}}$ . Расчет величины  $У_{\text{пр. у}}$  осуществляется с учетом ожидаемого уровня урожайности  $У_{\text{дву}}$ .

Соотношение всех перечисленных выше категорий урожаев иллюстрирует рис. 14.1, на котором одновременно показаны факторы, ответственные за постепенное снижение урожая от потенциального до производственного.



Первоочередной задачей программирования является приближение урожая в производстве к действительно возможному.

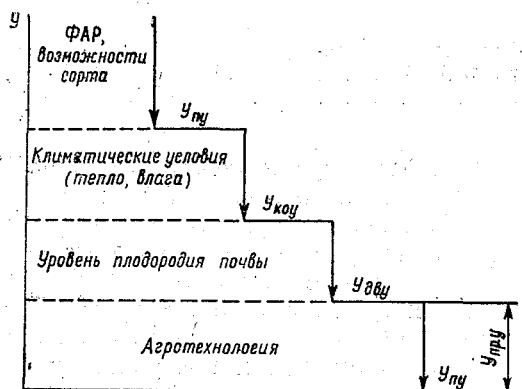


Рис. 14.1. Категории урожаев различных уровней и их лимитирующие факторы.

## Работа 29. Расчет урожайности зерновых культур

*Исходные данные:* агроклиматический справочник области, декадные метеорологические сведения (формы ТСХ-8); справочник «Агроклиматические ресурсы области».

Урожайность — интегральная величина. Она зависит от биологических особенностей культуры и условий выращивания. Максимальный урожай любой культуры достигается при непрерывном поступлении таких важных факторов, как свет, тепло, влага, воздух и питание в оптимальных количествах и в соответствии с потребностями культурного растения и его сорта.

Потенциальная урожайность зависит от суммы ФАР за период вегетации в данном регионе, от структуры посевов и уровня агротехники и агрофона полей. Все агротехнические мероприятия должны быть направлены на более длительное сохранение ассимиляционного аппарата с целью формирования наибольшего фотосинтетического потенциала, который определяется площадью листьев на гектар посева за каждый день вегетации или отдельные ее межфазные периоды.

Наиболее эффективно проводится подсчет программированного урожая зерновых, овощных и кормовых культур на орошаемых землях. В этом случае расчетная урожайность близка к фактической урожайности.

Расчет программированного урожая обычно начинается с определения потенциальной урожайности. По значению потенциальной урожайности определяется действительно возможная урожайность,

которая близка к производственной урожайности сельскохозяйственной культуры.

### *1. Расчет потенциальной урожайности озимой пшеницы Мироновская 808*

В расчете используем климатические условия ст. Мичуринск Тамбовской области (Центрально-Черноземная зона).

#### *Последовательность выполнения расчетов*

1. Определить состояние посевов.

По состоянию посевов можно с достаточной точностью определить коэффициент использования солнечной радиации данной культуры. Комиссией посеvy пшеницы признаны хорошими. Коэффициент использования ФАР принят за 2 %.

2. Определить период весенне-летней вегетации озимой пшеницы.

Дата начала весенней вегетации определяется по агроклиматическому справочнику Тамбовской области для ст. Мичуринск. В данном случае переход температуры воздуха через 5°C происходит 16 апреля. Дата наступления восковой спелости на данной станции — 31 июля.

Весенне-летний период вегетации озимой пшеницы — с 16 апреля по 31 июля.

3. Вычислить сумму ФАР за весенне-летний период вегетации (16 апреля — 31 июля).

Искомую сумму ФАР можно определить по агроклиматическому атласу или рассчитать по месячным значениям ФАР для ст. Мичуринск (табл. 14.1):

$$\sum Q_{\text{ФАР}} = 105 + 246 + 301 + 298 = 950 \text{ МДж/м}^2.$$

4. Определить калорийность озимой пшеницы сорта Мироновская 808.

Она определяется опытным путем в биохимической лаборатории. В нашем случае калорийность равна 19 500 МДж/т.

5. Вычислить потенциальную урожайность сухой биомассы озимой пшеницы [формула (14.1)]:

$$U_{\text{пу}} = \frac{950 \cdot 10^4 \cdot 2 \text{ МДж/га}}{100 \cdot 19\,500 \text{ МДж/т}} = 9,74 \text{ т/га.}$$

Здесь множитель  $10^4$  означает перевод  $\text{м}^2$  в гектары.

6. Определить потенциальную урожайность зерна пшеницы при стандартной влажности [формула (14.3), табл. 14.2]:

$$U_{\text{пу}} = \frac{100 \cdot 9,74}{(100 - 14) \cdot 2,5} = 4,53 \text{ т/га,}$$

где 2,5 — сумма частей зерна и соломы.

## II. Расчет климатически обеспеченной урожайности

В Центрально-Черноземной зоне (ст. Мичуринск) основным лимитирующим фактором урожайности озимых культур являются влагообеспеченность вегетационного периода и условия перезимовки растений.

При расчете программируемого урожая для таких климатических условий используют сумму осадков и значение продуктивной влаги в метровом слое почвы за вегетационный период культуры.

Расчет климатически обеспеченной урожайности можно провести по формулам (14.5) и (14.6).

1. Вычислить сумму осадков за весенне-летний период (с 16 апреля по 31 июля):

$$r = 16 + 46 + 57 + 59 = 178 \text{ мм.}$$

Осадки определены из агроклиматического справочника области для ст. Мичуринск.

2. Определить запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы.

Почвы в Мичуринском районе — выщелоченные черноземы. В конце апреля запасы продуктивной влаги равнялись 176 мм, в конце июля — 107 мм.

3. Вычислить среднюю многолетнюю сумму радиационного баланса за второй период вегетации пшеницы (с 16 апреля по 31 июля).

Величину  $\sum R$  можно определить по месячным суммам, взятым из агроклиматического справочника или из табл. 14.4.

Данные по Рязанской области могут быть использованы и для ст. Мичуринск, так как эти пункты расположены сравнительно на небольшом расстоянии:

$$\sum R = 105 + 318 + 339 + 335 = 1097 \text{ МДж/м}^2.$$

4. Вычислить климатически обеспеченную урожайность [формула (14.5)]:

$$Y_{\text{коу}} = \frac{4,53 (176 - 107 + 178)}{0,24 \cdot 1097} = 4,25 \text{ т/га.}$$

Расчет климатически обеспеченной урожайности можно провести по весенним запасам влаги и осадкам за весенне-летний период [формула (14.7)].

Расположение полей, занятых озимой пшеницей, горизонтальное ( $\mu = 0,8$ ). Коэффициент водопотребления для озимой пшеницы по среднему увлажнению равен 475 (табл. 14.5):

$$Y_{\text{коу}} = \frac{10 (176 + 0,8 \cdot 178)}{475} = 6,7 \text{ т/га.}$$

Урожайность зерна пшеницы при стандартной влажности определяется по формуле (14.8):

$$Y = \frac{100 \cdot 6,7}{2,5 (100 - 14)} = 3,13 \text{ т/га.}$$

### III. Расчет климатически обеспеченной урожайности по термическим ресурсам

Для районов, где лимитирующим фактором урожайности является тепло, величина  $U_{\text{коу}}$  рассчитывается по формуле (14.9).

В Мичуринске сумма активных температур равна  $2460^{\circ}\text{C}$ . При коэффициенте использования ФАР, равном 2%, значение  $\beta$  равно 20:

$$U_{\text{коу}} = 0,1 \cdot 20 \cdot \frac{2460}{1000} = 4,92 \text{ т/га.}$$

Урожай зерна равен:

$$U = \frac{100 \cdot 4,92}{2,5(100 - 14)} = 2,29 \text{ т/га.}$$

#### Контрольные вопросы

1. Назовите принципы программирования урожайности, в которых учитываются климатические условия местности.
2. Перечислите категории урожайности и их лимитирующие факторы.
3. По каким климатическим факторам вычисляется потенциальная урожайность?
4. Как рассчитать климатически обеспеченную урожайность?
5. По какой формуле делается пересчет сухой биомассы продукции в основную массу при стандартной влажности?

## Глава 15. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

### 15.1. Экономический эффект от использования агрометеорологической информации в сельскохозяйственном производстве

Сельскохозяйственное производство в значительной степени зависит от метеорологических условий. Поэтому информация о фактической и ожидаемой погоде, а также о сложившихся агрометеорологических условиях учитывается при уточнении планов проведения всех основных работ в земледелии. Некоторое представление об основных направлениях использования указанных сведений дает схема, изображенная на рис. 15.1.

Агрометеорологическая информация используется в сельском хозяйстве на трех уровнях:

- 1) при выборе проектных решений;
- 2) при выборе плановых решений;
- 3) при принятии оперативно-хозяйственных решений.

Своевременное получение и правильное использование метеорологической информации способствует увеличению продукции и доходов хозяйств при неблагоприятных метеорологических условиях.

Как известно, чистый доход (прибыль) представляет собой разность между выручкой за сданную по закупочным ценам сельскохозяйственную продукцию и затратами на ее производство (себестоимость). Чистый доход может быть получен с использованием метеорологической информации при принятии хозяйственных решений и без использования таковой. В общем случае экономическая эффективность (ЭЭ) будет выражаться разностью чистых доходов, получаемым хозяйством в результате осуществления производственных решений с учетом метеорологической информации и без ее учета.

Коэффициент долевого участия агрометеорологической информации в полученном экономическом эффекте  $K_y$  обычно устанавливается в зависимости от характера использования агрометеорологической информации.

Обычно коэффициент долевого участия агрометеорологической информации  $K_y$  принимается равным 0,2—0,5 в зависимости от вклада доли информации в получение экономического эффекта.

Для расчета экономического эффекта от использования агрометеорологической информации в агропромышленном комплексе используется следующая формула:

$$ЭЭ = K_y S (\Delta YЦ - З), \quad (15.1)$$

где  $S$  — площадь, на которой достигнуто повышение урожайности, га;  $\Delta Y$  — прибавка урожайности в результате мероприятий, прове-

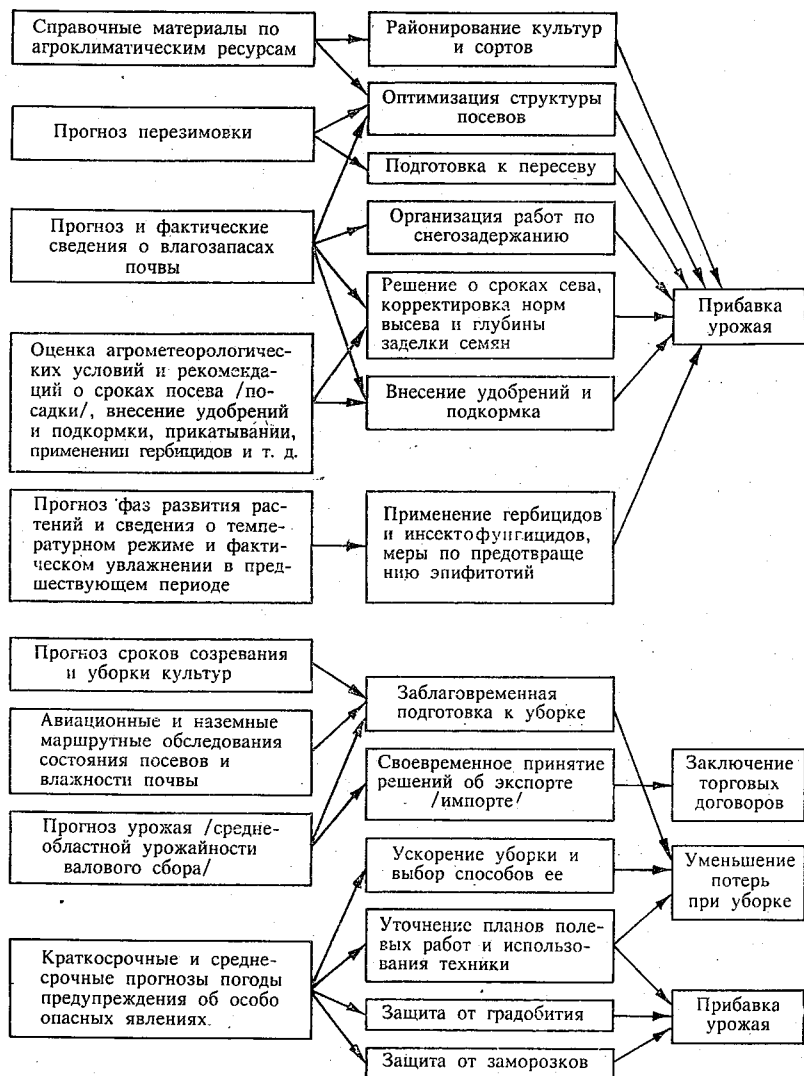


Рис. 15.1. Схема использования гидрометеорологической информации в богарном земледелии.

денных в соответствии с прогнозами и рекомендациями агрометеорологов, т/га;  $C$  — закупочная цена на данную культуру, определяемая по соответствующему прейскуранту (ценнику), руб/т;  $Z$  — затраты на проведение указанных мероприятий плюс затраты на уборку дополнительной продукции, руб/га.

В целом сложившаяся система агрометеорологического обеспечения позволяет снизить потери в сельском хозяйстве на 20—30 %.

Оценке ЭЭ подлежат следующие виды информации, используемой в сельском хозяйстве: синоптические и гидрологические прогнозы, предупреждения об опасных и особо опасных явлениях, все виды агрометеорологических прогнозов, рекомендаций и справок. Оценка производится методом полевого опыта (прямого сопоставления) или расчетно-нормативным методом, с помощью которых устанавливается ЭЭ от принятия решений по оптимизации технологических процессов или по защите производственных объектов; при невозможности использовать указанные методы, допустим метод экспертных оценок.

### 15.2. Расчет экономического эффекта от использования агрометеорологической информации по перезимовке озимых зерновых культур

Прогноз и информация о состоянии озимых к началу возобновления вегетации дает возможность заблаговременно определить площадь подсева или пересева, подготовить необходимое количество кондиционных семян и провести пересев зерновых культур в оптимальные сроки.

Без наличия прогноза о состоянии озимых в случае их гибели пересев производится с потерей 7—10 дней от оптимальных сроков, что приводит к снижению урожайности. Поэтому при расчете экономической эффективности за исходную величину принимают разность урожайностей яровой культуры на части пересеянной площади.

Если предсказанная площадь пересева в данном году  $S$  (га), а средняя за ряд лет  $\bar{S}$ , причем  $S > \bar{S}$ , то

$$\text{ЭЭ} = \Delta U K_y K_{\text{оп}} (S - \bar{S}) (Ц - З). \quad (15.2)$$

Здесь  $\Delta U$  — разность урожайностей яровой культуры, полученных в разные сроки сева, т/га;  $Ц$  — закупочная цена тонны ярового зерна, руб/т;  $З$  — затраты на уборку одной тонны зерна, руб/т;  $K_y$  — коэффициент долевого участия прогноза;  $K_{\text{оп}}$  — поправочный коэффициент, отражающий степень оправдываемости прогноза.

В тех случаях, когда площадь пересева в текущем году меньше, чем средняя многолетняя, хозяйства могут готовить меньшее количество семян. Экономическая эффективность при этом составит

$$\text{ЭЭ} = N K_y K_{\text{оп}} (\bar{S} - S) (И_c - И_z). \quad (15.3)$$

Здесь  $N$  — норма высева, т/га;  $K_{\text{оп}}$  — коэффициент оправдываемости прогноза;  $И_c$  и  $И_z$  — себестоимость соответственно семян и зерна, руб/т; остальные обозначения те же, что и в формуле (15.2).

### 15.3. Расчет экономического эффекта от использования гидрологической информации в районах орошаемого земледелия

В районах орошаемого земледелия при выпадении хороших осадков представляется возможность отказаться от одного-двух поливов. В районах, где не установлена плата за воду, отказ от одного полива даёт экономию примерно в 4 руб/га (такова в среднем оплата труда поливальщиков до 1991 г.). Там же, где плата за воду введена в хозрасчет, при расчете ЭЭ от использования тонны осадков должна учитываться и стоимость сэкономленной воды:

$$\text{ЭЭ} = S(I + Q\Pi)K_y. \quad (15.4)$$

Здесь  $S$  — площадь, на которой уменьшено число поливов, га;  $I$  — оплата труда поливальщиков, руб/га;  $Q$  — норма расхода воды на один полив, м<sup>3</sup>/га;  $\Pi$  — оплата за воду, руб/м<sup>3</sup>;  $K_y$  — коэффициент участия, который в данном случае может приниматься равным единице.

Для подсчета ЭЭ от использования гидрологического прогноза в рассматриваемой ситуации необходимо знать: 1) какое количество воды дополнительно получено (или сэкономлено) благодаря принятым мерам; 2) насколько вследствие этого повышена норма водоподачи на поля, занятые разными культурами; 3) площадь этих полей; 4) зависимость между влагоснабжением (м<sup>3</sup>/га) и урожайностью основных возделываемых культур.

Известно, что с повышением влагоснабжения урожай увеличивается лишь до тех пор, пока имеются неиспользованные тепловые ресурсы, позволяющие повышать расход воды на транспирацию, испарение и накопление органической массы. Дальнейшее же увеличение водоподачи приводит к снижению урожая вследствие нарушения воздушного, питательного и теплового режимов корнеобитаемого слоя почвы.

Типичная для большинства культур зависимость между объемом водоподачи и урожайностью подобна кривой, показанной на рис. 15.2 (по М. М. Кобакову и Р. И. Горбачевой). Зная величину урожая какой-либо культуры, полученного с 1 га при фактическом объеме водоподачи, можно с помощью указанных кривых определить, каков был недобор урожая при меньшей влагообеспеченности. Допустим, что при подаче 5000 м<sup>3</sup>/га получен фактический урожай свеклы 36 т/га; по данным водохозяйственной организации учёт гидрологического прогноза позволил принять меры по борьбе с маловодьем и увеличить водоподачу на 10%. Для расчета ЭЭ прогноза нужно определить, каков был бы урожай при подаче меньшего (на 10%) количества воды, т. е. 4500 м<sup>3</sup>/га. Из рис. 15.2 определяем, что при подаче 5000 м<sup>3</sup>/га расчетная урожайность составляет 40 т/га, а при 4500 м<sup>3</sup>/га — 35 т/га. Следо-



Таблица 15.2

**Недобор (потери) урожайности (%) сельскохозяйственных культур  
при нарушении срока проведения полевых работ**

Культура	Вид работ	Дни									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Яровые зерновые	Сев	3,2	4,0	4,6	5,2	5,8	6,2	6,8	7,2	7,8	
Зернобобовые	"	3,5	5,0	6,5	7,5	8,5	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
Сахарная свекла	"	2,9	3,8	4,5	5,1	5,7	6,5	7,2	7,9	8,7	9,4
Картофель	Посадка	2,7	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2	5,8	6,5		
Огурцы	Сев	2,9	3,8	4,7	5,6	6,4	7,2	8,9	9,3	10,5	11,75
Томаты	Посадка	3,0	4,1	5,2	6,3	7,3	8,3	9,2	10,2	11,1	12,1
Сахарная свекла	Уборка	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,4	4,6	4,8

*Последовательность выполнения расчетов*

1. Определить экономическую эффективность прогноза по пере-  
зимовке озимых при пересеве озимой пшеницы яровой по следую-  
щим исходным данным:

Показатель	Значение
Площадь озимой пшеницы в хозяйстве	1350 га
Площадь гибели озимых по прогнозу	20 %
Оправдываемость прогноза	85 %
Средняя площадь пересева за ряд лет	$\bar{S} = 150$ га
Урожайность яровой пшеницы с учетом использо- вания прогноза в сроках сева	$U_{я} = 2,5$ т/га
Урожайность озимой пшеницы с непересеянной пло- щади	$U_{о} = 0,8$ т/га
Допущенное отклонение срока пересева от оптималь- ного (без учета прогноза)	5 дней
Оправдываемость прогноза	$K_{оп} = 85$ %
Коэффициент долевого участия ЭЭ прогноза	$K_{у} = 0,5$
Закупочная цена пшеницы	$C_{о} = C_{я} = 99$ руб/т
Затраты на уборку 1 т зерна	$Z = 4$ руб/т
Затраты на пересев 1 га	30 руб/га

*Ход расчета экономического эффекта*

1. Определить целесообразность пересева:

$$99 \cdot 0,8 \text{ должно быть меньше, чем } 99 \cdot 2,5 - 30,$$

$$\text{т. е. } 79,2 \text{ руб/га} < 217,5 \text{ руб/га},$$

а значит, пересев целесообразен.

2. Определить площадь пшеницы, подлежащей пересеву:

$$Y = \frac{1350 \text{ га} \cdot 20 \%}{100 \%} = 270 \text{ га}.$$

3. Определить недобор урожайности яровой пшеницы из-за нарушения сроков посева на 5 дней (табл. 15.2).

По данным табл. 15.2 потеря урожайности составит 5,8 %. Тогда

$$У = \frac{2,5 \text{ т/га} \cdot 5,8\%}{100\%} = 0,145 \text{ т/га.}$$

4. Найти коэффициент оправдываемости прогноза  $K_{оп}$  по данным табл. 15.1. При оправдываемости прогноза 85 % он равен 0,9.

5. Подсчитать экономическую эффективность использования прогноза по посеву озимой пшеницы. Для этого используется формула (15.2):

$$\text{ЭЭ} = 0,145 \cdot 0,5 \cdot 0,9 (270 - 150) (99 - 4) = 743,85 \text{ руб/га.}$$

Здесь 0,5 — коэффициент долевого участия агрометеорологического прогноза в посеве пшеницы. В данном случае  $K_y$  можно принять максимальным, т. е.  $K_y = 0,5$ .

#### *Контрольные вопросы*

1. Какая агрометеорологическая информация используется при выращивании озимых культур?

2. Какие агротехнические приемы следует применить для плохо перезимовавших озимых посевов?

3. Как определить целесообразность посева озимых яровыми?

4. Что такое коэффициент долевого участия метеорологической информации и чему он равен?

# Глава 16. УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАСТЕНИЕВОДСТВА

## 16.1. Цель и задачи учебной практики

Учебно-полевая практика проводится с целью закрепления знаний, полученных при лекционном и лабораторном обучении. В ходе учебной практики студенты знакомятся с основной агрометеорологической информацией метеостанции, необходимой для сельскохозяйственного производства, овладевают навыками работы с приборами, проводят микроклиматические наблюдения.

Учебная практика обычно рассчитывается на три-четыре дня (24 учебных часа), в течение которых студенты выполняют следующие работы:

Первый день: 1) знакомятся с задачами практики и методикой проведения полевых наблюдений; 2) готовят метеорологические приборы и другое полевое оборудование для проведения всей практики; 3) производят разовые рекогносцировочные (пробные) наблюдения на учебной площадке; 4) делают заготовки форм таблиц для записи результатов наблюдений; 5) знакомятся с методами математической обработки ожидаемых результатов наблюдений.

Второй день: 1) знакомятся с работой агрометеорологической станции или поста; 2) изучают новые приборы, не встречающиеся при лабораторно-практическом обучении студентов; 3) уточняют программы метеорологических и фенологических наблюдений на полевых участках данной станции; 4) изучают агрометеорологическую информацию, используемую в сельскохозяйственном производстве; 5) составляют агроклиматическую и агрометеорологическую характеристику вегетационного периода.

Третий день: 1) организуют микроклиматическую съемку опытного поля; 2) обрабатывают результаты микроклиматической съемки.

Четвертый день: 1) изучают микроклимат и фитоклимат оранжереи или теплицы по выращиванию овощных культур; 2) измеряют интенсивность солнечной радиации в данном закрытом помещении и в травостое растений; 3) измеряют температуру и влажность воздуха; 4) составляют отчет по микроклиматической съемке.

## 16.2. Задания по учебной практике

### Работа 31. Составление характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода

*Необходимые данные:* агроклиматический справочник области, метеорологические декадные бюллетени формы ТСХ-8 за текущий год, фенологические данные о сроках сева и созревания основных сельскохозяйственных культур.

Практические навыки по составлению характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода необходимы агроному любого профиля. Выполнение этой работы позволяет объективнее рассматривать итоги полевых работ, учитывать влияние погодных условий на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур, эффективность применения удобрений, находить оптимальные приемы борьбы с болезнями и вредителями.

Материал о погодных условиях конкретного года найдет применение в курсовых и дипломных работах, в отчетах по практике.

Составление общей характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода имеет целью дать количественную оценку основных метеорологических факторов в течение весенне-летнего и осеннего периода и подпериодов в сопоставлении с климатическими нормами данной территории. Это позволит определить степень благоприятности метеорологических условий данного года для роста, развития и урожайности основных сельскохозяйственных культур, выявить типичность или аномальность погодных условий в отдельные периоды вегетации растений и т. д.

Общая агрометеорологическая характеристика вегетационного периода составляется на основании данных ближайшей метеорологической станции (декадные метеорологические бюллетени формы ТСХ-8) и климатических материалов (агроклиматический справочник области и др.). Следует также указать, как эти погодные условия отразились на росте, развитии продуктивности и урожайности основных сельскохозяйственных культур.

#### *Последовательность выполнения работы*

1. Посетить ближайшую метеорологическую станцию и получить от работников декадные метеорологические бюллетени ТСХ-8 и областной агроклиматический справочник.

2. Составить сводные таблицы агрометеорологических условий последнего вегетационного периода и средних многолетних характеристик по административному району станции (табл. 16.1, 16.2 и 16.3).

3. Выписать из этих документов декадные метеорологические элементы текущего года и многолетние нормы этих элементов по данной метеостанции.

**Таблица сроков начала, конца и продолжительности периодов  
со средней суточной температурой воздуха выше указанных значений**

Показатель	Дата начала периода	Дата конца периода	Продолжительность периода, число дней	Примечание
Выше 0 °С: средняя многолетняя отклонение				
Выше 5 °С: средняя многолетняя отклонение				
Выше 10 °С: средняя многолетняя отклонение				
Выше 15 °С: средняя многолетняя отклонение				
Безморозный период: средняя многолетняя отклонение				

4. Составить характеристику температурного режима в течение вегетационного периода (для этой цели используются данные бюллетеней формы ТСХ-8 и агроклиматический справочник области):

а) определить даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С (см. работу 17 из главы 10);

б) вычислить сумму активных температур воздуха нарастающим итогом на последний день декад;

в) дать словесную характеристику (оценку) вегетационного периода в зависимости от величины отклонения суммы активных температур от климатической нормы.

5. Составить характеристику условий увлажнения.

Наиболее распространенным показателем увлажнения является количество осадков.

В табл. 16.2 вносятся декадные суммы осадков за весь вегетационный период текущего года в сопоставлении с климатической нормой данного района.

6. Составить динамику запасов продуктивной почвенной влаги в слое 0—50 см, наблюдаемых на опытном поле, занятом какой-либо сельскохозяйственной культурой.

7. Составить таблицу сроков сева и созревания основных сельскохозяйственных культур в текущем году и сравнить их со средними многолетними сроками.

8. Дать письменную характеристику агрометеорологических условий отдельных периодов вегетации (весеннего, летнего, осеннего) и указать, как эти условия отразились на росте, развитии и урожайности сельскохозяйственных культур (приложение 3).

9. Записать контрольные вопросы и подготовить на них ответы.

Метеорологические данные за вегетационный период по \_\_\_\_\_  
 области \_\_\_\_\_ района. Метеостанция \_\_\_\_\_ 199—г.

Метеоэлементы	Апрель			Май			Июнь			и т. д.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Средняя температура воздуха, °С 199—г. многолетняя												
Сумма активных температур (выше 10 °С) нарастающим итогом на последний день декады, °С 199—г. многолетняя												
Сумма осадков, мм 199—г. многолетняя												
Запас продуктивной влаги в почве под культурой в слое 0—50 см, мм 199—г. многолетняя												

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

### Даты сева и созревания сельскохозяйственных культур

Сельскохозяйственная культура	Дата сева		Дата созревания	
	199—г.	средняя многолетняя	199—г.	средняя многолетняя

### Контрольные вопросы

1. Какие основные метеорологические факторы используются при составлении характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода?
2. Как определяются даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С?
3. Какой вегетационный период считается очень холодным или очень жарким?
4. Какими метеорологическими показателями можно оценить условия увлажнения?

5. Какие неблагоприятные метеорологические условия наблюдались в текущем году по данной станции?

### 16.3. Рекомендации по составлению письменного отчета по работе 31

#### 16.3.1. Составление характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода

С датами перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной и осенью отождествляется начало и конец вегетации большинства сельскохозяйственных культур. Активная вегетация растений происходит в период, ограниченный датами перехода температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ .

Общая агрометеорологическая характеристика вегетационного периода составляется на основании данных ближайшей метеорологической станции и климатических показателей данного района.

Строится эта характеристика по следующей схеме:

#### *1. Характеристика температурного режима вегетационного периода*

Основной характеристикой климата географической местности является среднесуточная температура воздуха. В зависимости от температуры воздуха астрономический год в некоторых районах земного шара можно разделить на четыре сезона.

За начало и конец сезонов условно принята дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через определенные пределы ( $0, 5, 10, 15^{\circ}\text{C}$ ) с учетом дат установления и схода устойчивого снежного покрова и дат начала и окончания заморозков (рис. 10.5 и 16.1).

Зима. Начало зимы определяется датой перехода средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения и образованием устойчивого снежного покрова, окончание зимы — датой перехода средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону повышения и разрушением устойчивого снежного покрова.

Весна — период времени с момента перехода средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  к положительным значениям и разрушения устойчивого снежного покрова до даты перехода средней суточной температуры через  $15^{\circ}\text{C}$  и окончания заморозков (средняя дата).

Для сельскохозяйственного производства очень важным является период со средней суточной температурой воздуха от  $5$  до  $15^{\circ}\text{C}$ . Датой перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  в большинстве районов страны определяется возобновление вегетации озимых посевов и начало полевых работ, через  $10^{\circ}\text{C}$  — начало сева требовательных к теплу культур и активной

вегетации растений, а через  $15^{\circ}\text{C}$  — окончание весенних полевых работ. Напряженность полевых работ возрастает с уменьшением продолжительности этого периода.

Лето — период со средней суточной температурой выше  $15^{\circ}\text{C}$ , т. е. оптимальной для роста и развития растений. При температуре выше  $15^{\circ}\text{C}$  происходит вегетация всех требовательных к теплу культур.

Осень начинается с перехода средней суточной температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения. Ей предшествует теп-

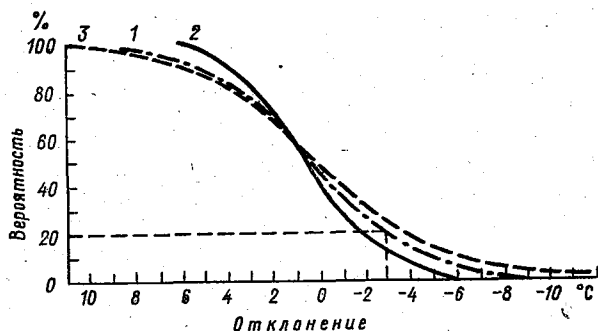


Рис. 16.1. Кривые вероятности наступления низких минимальных температур в отклонениях от средних.

1 — Европейская часть Российской Федерации и Западная Сибирь, 2 — Забайкалье, 3 — Средняя Азия.

лый предосенний период с температурами ниже  $15^{\circ}\text{C}$ , но выше  $10^{\circ}\text{C}$ . В это время сеются озимые, продолжают вегетацию многие сельскохозяйственные культуры. С переходом температуры через  $10^{\circ}\text{C}$  прекращается активная вегетация растений, возрастает повторяемость заморозков. С переходом средней суточной температуры через  $5^{\circ}\text{C}$  заканчивают вегетацию все сельскохозяйственные культуры. Окончание осени определяется переходом средней суточной температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения.

По декадным бюллетеням формы ТСХ-8 определяются даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной и осенью текущего года. Из агроклиматического справочника выписываются многолетние даты начала и конца вегетационного периода.

Сопоставляя даты текущего года с многолетними средними датами этого периода устанавливают, на сколько дней отличался вегетационный период данного года от среднего многолетнего.

Форма записи расчетов дана в табл. 16.1.

Для характеристики температурных условий вегетационного периода составляют таблицу средних декадных температур воздуха в течение периода и вычисляют отклонения от многолетней средней декадной температуры воздуха (см. табл. 16.2).



В тексте следует указать наиболее выраженные периоды потеплений и похолоданий (отклонение от нормы  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  и больше).

Необходимо отметить, когда в текущем году окончились заморозки на поверхности почвы и в воздухе, и сравнить эти сроки со средними многолетними. Если отклонения были значительными (более  $\pm 10$  дней), указать их вероятность (%). То же следует сказать о первых осенних заморозках, отметить случаи наиболее интенсивных заморозков. Рассчитать продолжительность безморозного периода, сравнить с нормой.

Отметить начало и конец периода активной вегетации (период со средней суточной температурой воздуха  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ), рассчитать его продолжительность и сравнить с нормой (табл. 16.1). Рассчитать сумму активных температур воздуха (табл. 16.2), сравнить ее с нормой и определить по графику рис. 10.3 ее обеспеченность (%). Дать словесную характеристику (оценку) вегетационного периода в зависимости от отклонения суммы активных температур от нормы. При отклонении менее  $\pm 100^{\circ}\text{C}$  температурные условия периода считаются близкими к норме, при отклонении  $\pm 100 \dots \pm 200^{\circ}\text{C}$  период соответственно считается прохладным или теплым, при отклонении  $\pm 200 \dots \pm 400^{\circ}\text{C}$  — холодным или жарким, при отклонении более  $\pm 400^{\circ}\text{C}$  — очень холодным или очень жарким. Целесообразно указать число дней с максимумом температуры воздуха больше  $30^{\circ}\text{C}$ .

## II. Характеристика условий увлажнения

Одним из показателей увлажнения является сумма осадков. Таблица декадных сумм осадков составляется по форме, приведенной в табл. 16.2, за весь вегетационный период в сопоставлении с нормой. В тексте следует отметить периоды с дождями и бездождные периоды, если они продолжаются 10 дней и более, а также указать число дней с сильным ливнем (более 10 мм осадков за сутки) и градом. Отметить число дней с дефицитом влажности воздуха  $\geq 30$  гПа и с относительной влажностью воздуха  $\leq 30$  % (в один из дневных сроков наблюдений), а также с дефицитом влажности  $< 3$  гПа в период уборки зерновых культур.

Среднее многолетнее количество осадков дает представление о 50 %-ной обеспеченности территории осадками. Поэтому для более правильной оценки влагообеспеченности посевов необходим расчет количества выпадающих осадков различной обеспеченности. Для этих целей строят номограммы осадков различной обеспеченности. В качестве примера на рис. 10.8 приведен график для расчета осадков различной обеспеченности за теплый период года. Зная потребность растений в осадках за определенный период и обеспеченность такого количества осадков за этот же период, можно сделать вывод об уровне влагообеспеченности растений.

Однако оценка условий увлажнения только по количеству выпавших осадков недостаточна, так как в различных районах

страны может выпадать одинаковое количество осадков, но влагообеспеченность растений будет разной. Это объясняется разной испаряемостью воды в районах с разной температурой воздуха.

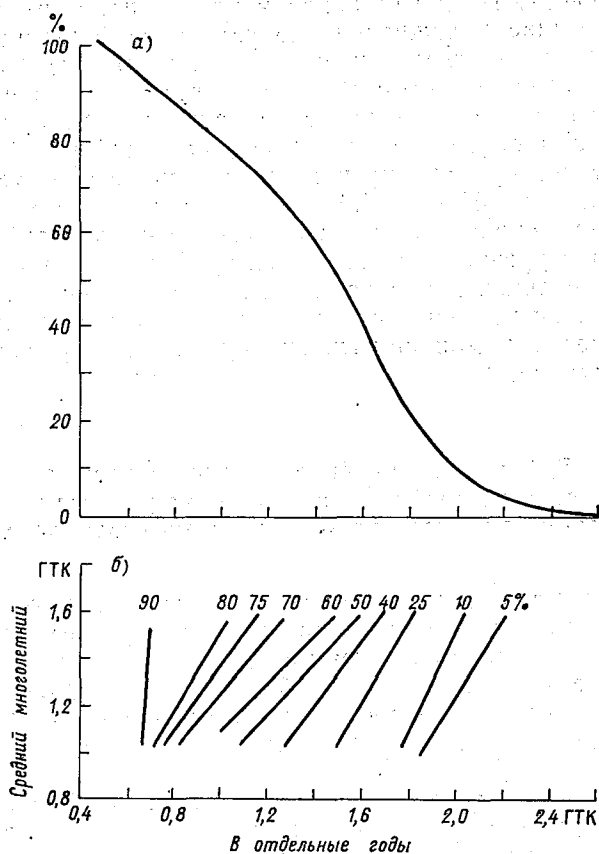


Рис. 16.2. Интегральная кривая (а) и номограмма (б) для расчета обеспеченности ГТК.

Для оценки условий увлажнения применяется гидротермический коэффициент [формула (9.3), табл. 10.3]. Оценку увлажнения по ГТК делают за период, когда средняя суточная температура воздуха переходит через  $10^{\circ}\text{C}$ .

Чтобы рассчитать вероятность показателя увлажнения ГТК за период вегетации, необходимо определить его за текущий год и сравнить с многолетним значением. Вероятность ГТК рассчитывается так же, как и осадков. На оси абсцисс откладываются возможные значения ГТК в отдельные годы (масштаб: в 1 см — 0,5 ГТК или в 1 см — 0,1 ГТК), на оси ординат — средние многолетние значения ГТК, наблюдаемые на данной территории

ные промежутки времени (30 мин, 1 ч) на участках с различной подстилающей поверхностью, а также на посевах различных сельскохозяйственных культур или с различной агротехникой. Микроклиматическая маршрутная съемка заключается в том, что наблюдатель с комплексом необходимых приборов обходит последовательно ряд точек и делает соответствующие измерения на одной определенной высоте. Для уменьшения ошибок, которые могут возникнуть в результате неодновременности измерений, выбранный маршрут проходят дважды. Измерения в каждой точке проводят по ходу «туда» и «обратно» и сравнивают между собой средние значения метеорологических величин из двух отсчетов. В этом случае ошибка, которая может возникнуть в результате неодновременности измерений, не превышает точности отсчета по приборам.

При осуществлении микроклиматической маршрутной съемки каждая бригада производит измерения в 5—6 точках с различной подстилающей поверхностью (лесополоса, склоны разной крутизны и экспозиции, побережье водоемов и др.) или на полях с различными культурами (пар, злаковые, кукуруза, орошаемые и неорошаемые поля) по ходу «туда» и «обратно». В последней точке измерения проводятся только один раз. Форма записи наблюдений приведена в табл. 16.4.

Обработку измерений после микроклиматической съемки начинают с определения средних значений из двух отсчетов на каждой точке по ходу «туда» и «обратно», потом в средние значения вводят поправки.

Для анализа полученных результатов каждая бригада использует свои данные измерений во всех точках, сопоставляя их между собой и с опорной точкой.

На основании данных измерений и их анализа каждая бригада составляет письменный отчет, в котором освещаются следующие вопросы:

- 1) методика микроклиматических наблюдений;
- 2) приборы, использованные для измерений;
- 3) результаты анализа микроклиматических измерений и выводы о преимуществах и недостатках в микроклиматическом отношении для сельскохозяйственного производства отдельных участков с различной подстилающей поверхностью.

Прежде чем выйти в поле, каждая бригада, получив приборы, должна проверить их пригодность к работе и сверить наличие необходимых поправок к ним (по поверочным свидетельствам приборов или методическим указаниям).

### *Последовательность наблюдений*

#### *I. Микроклиматические маршрутные наблюдения (табл. 16.4)*

1. Произвести измерения атмосферного давления анероидом на уровне 0,2 м. Для этого необходимо: а) расположить горизон-

## Форма записи микроклиматических маршрутных наблюдений

Параметры	1-я точка			2-я точка		
	Время _____			Время _____		
	туда	обратно	среднее	туда	обратно	среднее
Давление воздуха						
$t$ °С						
$P$ гПа						
Температура по психро-						
метру, °С						
$t$						
$t'$						
Величины влажности						
воздуха						
$e$ гПа						
$f$ %						
$d$ гПа						
$t_d$ °С						
Температура почвы на						
глубине 10 см, °С						
Ветер						
направление						
скорость, м/с						
Облачность, баллы						
общая						
нижняя						
Форма облаков						
Суммарная радиация,						
Вт/м <sup>2</sup>						
Бригада						

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

тально шкалу анероида, постучать по стеклу пальцем и отсчитать давление с точностью до 0,1 гПа; б) сделать отсчет температуры прибора с точностью до 0,1 °С; в) записать показания в табл. 16.4.

2. Произвести измерения психрометром на уровне 0,2 м. Для этого необходимо: а) смочить правый термометр, обернутый бати-стом, пользуясь пипеткой с резиновой грушей; б) завести пружину вентилятора до отказа; в) уложить психрометр горизонтально в гнезда на уровне 0,2 м от земли и выждать 3—4 мин; г) сделать отсчеты: вначале по сухому термометру, затем по смоченному; д) записать показания в таблицу.

Измерения психрометром повторить на уровне 1,5 м.

3. Измерить температуру почвы: а) срочную на глубине 10 см (по трости агронома); б) максимальную (по максимальному термометру, не поднимая его с поверхности почвы); затем термометр встряхнуть, записать показания после встряхивания и положить на поверхность почвы слегка наклонно в сторону резервуара. Следовательно, по максимальному термометру снимаются и записы-

ваются два показания: до встряхивания (максимальная температура), после встряхивания (температура окружающего воздуха); в) минимальную (по минимальному термометру, не поднимая его с поверхности почвы), отсчитывая вначале температуру по мениску спирта, а затем по концу штифта, удаленному от резервуара. Температура, отсчитанная по штифту, будет минимальной, по мениску спирта — приблизительно температурой поверхности почвы в данный момент (срочная). Таким образом, по минимальному термометру снимаются и записываются тоже два показания: по мениску спирта и по штифту. После окончания наблюдений термометр нужно взять с поверхности почвы, подержать его резервуаром вверх до того момента, пока штифт не коснется мениска спирта, а затем установить термометр горизонтально.

4. Измерить скорость ветра анемометром: а) записать показания стрелок прибора ( $K_1$ ); б) включить счетчик и одновременно пустить в ход секундомер (на 100 с); в) выключить счетчик и записать показания стрелок прибора ( $K_2$ ). В такой последовательности измерения анемометром производятся 3 раза.

5. Произвести измерения интенсивности суммарной, рассеянной и отраженной радиации: а) соединить проводами альбедометр с гальванометром ГСА-1; б) освободить арретир гальванометра (вывернуть на 2-3 оборота) и проверить правильность подключения приборов; в) установить альбедометр термобатарей вверх; г) стрелку гальванометра корректором установить на 5-е деление шкалы, которое принимается за начало отсчета (нуль); д) определить облачность неба: облачность записывается в десятибалльном измерении; здесь же определяются формы облаков; е) отсчитать нулевое положение стрелки гальванометра  $H_0$  (около 5-го деления) с точностью до 0,1 деления шкалы; ж) снять крышку с альбедометра и через 1 мин сделать три отсчета суммарной радиации  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  с промежутками в 20 с; з) повернуть альбедометр термобатарей вниз и через 1 мин сделать три отсчета отраженной радиации  $H_4$ ,  $H_5$ ,  $H_6$  также с промежутками в 20 с; и) вновь повернуть альбедометр термобатарей вверх и через 1 мин сделать еще три отсчета суммарной радиации  $H_7$ ,  $H_8$ ,  $H_9$ .

Обработка наблюдений производится в учебной лаборатории.

## *II. Микроклиматическая съемка сельскохозяйственных полей на участках с различными сельскохозяйственными культурами*

На опытных участках в зависимости от различия свойств почвы и применения различных агротехнических приемов, в зависимости от характера растительного покрова и формы рельефа создаются как в слое воздуха, так и в поверхностных слоях почвы особые условия освещения, температуры, влажности, значительно отличающиеся от условий на метеорологических площадках.

Так, температура и влажность в приземном слое воздуха колеблется в гораздо больших пределах, чем в свободной атмосфере.

Поверхности различного наклона и ориентировки имеют различный солнечный режим. Резкие переходы от одних условий к другим могут наблюдаться на малых расстояниях, особенно в ясную тихую погоду.

Растительность на полях влияет на распределение метеорологических элементов среди стеблестоя (создается фитоклимат).

Поэтому изучение приземного слоя воздуха и поверхностных слоев почвы непосредственно на опытных участках является одной из важнейших задач.

При микроклиматической съемке сельскохозяйственных полей используются те же приборы, что и при микроклиматических маршрутных наблюдениях.

### Последовательность наблюдений

1. Измерить температуру и влажность воздуха на участках с разными культурами.

Результаты наблюдений записать в табл. 16.5.

Таблица 16.5

### Измерение температуры и влажности воздуха

Место наблюдений \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Давление воздуха  $P$  \_\_\_\_\_ Срок (время) наблюдений \_\_\_\_\_

Вид наблюдений и обработки	Участок _____						Участок _____																	
	Отсчет		Поправка		Исправленный отсчет		Отсчет		Поправка		Исправленный отсчет													
	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150												
Температура сухой термометр, $t$ смоченный термометр, $t'$																								
Поправочное число $n$																								
Поправка $\Delta t'$																								
Исправленное показание $t''$																								
Упругость водяного пара $e$																								
Относительная влажность $f$																								
Недостаток насыщения $d$																								

Наблюдатель \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

2. Измерить температуру почвы на разных участках в разное время.

Результаты наблюдений записать в табл. 16.6.

## Измерение температуры почвы

Место наблюдений \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_ 1-й срок (время) \_\_\_\_\_

Приборы	Участок № 1 (_____)			Участок № 2 (_____)		
	Отсчет	По- правка	Исправ- ленный отсчет	Отсчет	По- правка	Исправ- ленный отсчет
Максимальный						
а) до встряхивания						
б) после встряхивания						
Минимальный						
а) спирт						
б) штифт						
Термометр-щуп (на глубине 10 см)						

Наблюдатель \_\_\_\_\_ Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

3. Измерить скорость ветра анемометром и результаты записать в табл. 16.7.

Таблица 16.7

## Измерение скорости ветра

Место наблюдений \_\_\_\_\_ Дата и время \_\_\_\_\_

Анемометр № \_\_\_\_\_ Наблюдатель \_\_\_\_\_

Наименование участка	Отсчеты		Разность $K_2 - K_1$	Количе- ство секунд	Деления счетчика в 1 сек	Ско- рость ветра, м/с	Средняя скорость ветра, м/с
	$K_1$	$K_2$					
Участок № 1 (_____)							
Участок № 2 (_____)							

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

4. Измерить солнечную радиацию над травостоем и внутри травостоя.

Измерение солнечной радиации

Место наблюдений \_\_\_\_\_

Дата и время \_\_\_\_\_

Наблюдатель \_\_\_\_\_

Высота установки	Нулевое положение стрелки гальванометра			Альбедометр (отсчеты)					
				суммарная радиация			отраженная радиация		
	$H'$	$H''$	$\frac{H' + H''}{2}$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$
Над травостоем									
Внутри травостоя									

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

5. Сделать вычисления по следующей схеме:

Величина	Над травостоем	Внутри травостоя	Величина	Над травостоем	Внутри травостоя
$\frac{H_1 + H_2 + H_3}{3}$			$\frac{H_4 + H_5 + H_6}{3}$		
$\Delta H$			$\Delta H$		
$-\frac{H' + H''}{2}$			$-\frac{H' + H''}{2}$		
Сумма			Сумма		

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

Радиация (Вт/м<sup>2</sup>) на горизонтальную поверхность:

Величина	Над травостоем	Внутри травостоя
Отраженная радиация $R$		
Суммарная радиация $Q$		
Альbedo, $\frac{R}{Q} \cdot 100 \%$		

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_



## 6. Обработать результаты наблюдений.

Результаты наблюдений обрабатываются в помещении с использованием ряда вспомогательных материалов: поверочных свидетельств к термометрам и анемометрам, психрометрических таблиц.

Таблица 16.5: а) для соответствующего значения температуры найти поправку из поверочного свидетельства. Записать ее в графе «Поправка» для уровня 20 см; б) к отсчету температуры прибавить поправку и записать температуру в графе «Исправленный отсчет» для уровня 20 см.

В таком же порядке вносится поправка для уровня 150 см.

Пользуясь психрометрическими таблицами, найти значения основных характеристик влажности воздуха: упругости водяного пара, относительной влажности воздуха и недостатка насыщения.

Таблица 16.6. Для показаний максимального и минимального термометров также вводятся поправки из поверочных свидетельств каждого термометра и записываются исправленные значения.

Термометр-щуп или трость агронома не имеют поверочного свидетельства, поэтому отсчет повторяется без изменения в графе «Исправленный отсчет».

Таблица 16.7. Последовательность обработки следующая: а) найти разность отсчетов  $K_2 - K_1$ ; б) записать количество секунд, когда анемометр был включен (обычно для удобства расчетов принимаются 100 с); в) найти число делений счетчика за 1 секунду  $\left(\frac{K_2 - K_1}{100}\right)$ ; г) по поверочному свидетельству анемометра (таблица или график) перевести число делений в секунду в скорость ветра (м/с) для каждого из трех отсчетов; д) вычислить среднюю скорость ветра из трех отсчетов.

Таблица 16.8. Вычислить среднее значение нулевого положения стрелки для каждого измерения:  $(H' + H'')/2$ ; определить среднее значение из трех отсчетов суммарной и отраженной радиации для разных высот:  $(H_1 + H_2 + H_3)/3$  и  $(H_4 + H_5 + H_6)/3$ . Из поверочного свидетельства гальванометра взять шкаловую поправку  $\Delta H$ . Суммарная радиация вычисляется по сумме указанных показателей с учетом переводного коэффициента  $K$ , данного для пары приборов (альбедометра и гальванометра).

### *Составление сводной таблицы*

По данным наблюдений, занесенным в табл. 16.5—16.8 составляется общая (сводная) таблица результатов наблюдений с вычислением отклонений данных между различными участками, а также между двумя высотами (20 и 150 см). По данным сводной табл. 16.9 следует построить графики хода основных метеорологических элементов (температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра и др.). На оси абсцисс отмечаются названия участков, а на оси ординат откладываются значения метеорологических величин.

Сводная таблица микроклиматической съемки сельскохозяйственных полей с различными сельскохозяйственными культурами

Вид наблюдений	Время	Высота установки	Участок		Отклонения		
			№ 1	...	8	9	10
1	2	3	4	...	8	9	10
Температура воздуха, °С		150 см					
		20					
		150					
		20					
Относительная влажность воздуха, %		150 см					
		20					
		150					
		20					
Дефицит влажности воздуха, гПа		150 см					
		20					
		150					
		20					
Максимальная температура, °С	1-й срок	На поверхности почвы					
	2-й срок						
Минимальная температура, °С	1-й срок	На поверхности почвы					
	2-й срок						
Температура почвы, °С	1-й срок	На глубине 10 см					
	2-й срок						
Скорость ветра, м/с	1-й срок	150 см					
	2-й срок		150 см				
Суммарная радиация $Q$	1-й срок	Над травостоем					
	2-й срок	Внутри травостоя					
		Над травостоем					
		Внутри травостоя					
Отраженная радиация $R$	1-й срок	Над травостоем					
	2-й срок	Внутри травостоя					
		Над травостоем					
		Внутри травостоя					
Альбедо, $\frac{R \cdot 100 \%}{Q}$	1-й срок	Над травостоем					
	2-й срок	Внутри травостоя					
		Над травостоем					
		Внутри травостоя					

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_

### *Анализ результатов наблюдений и составление письменного отчета*

Микроклиматические наблюдения анализируются на основе материалов сводной табл. 16.9 и графиков хода метеорологических величин. Вначале необходимо отметить, какие различия в температуре и влажности воздуха наблюдаются в приземном слое, путем сравнения данных измерений на высотах 20 и 150 см.

Далее анализируются отклонения значений метеорологических величин, связанных с различными участками. Микроклиматические закономерности могут сильно варьировать в зависимости от состояния погоды. Поэтому полученные отклонения характерны только для конкретной ситуации, в других погодных условиях они могут существенно измениться.

По результатам микроклиматической съемки составляется краткий письменный отчет, проверяемый руководителем практики.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

**Максимальная упругость водяного пара (гПа) при разных температурах**

°С	Десятые доли градуса									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
—1	5,7	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4	5,3
—0	6,1	6,1	6,0	6,0	5,9	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7
0	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5
1	6,6	6,6	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9	7,0	7,0
2	7,0	7,1	7,2	7,2	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5
3	7,6	7,6	7,7	7,7	7,8	7,8	7,9	8,0	8,0	8,1
4	8,1	8,2	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7
5	8,7	8,8	8,8	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3
6	9,4	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	10,0
7	10,0	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6
8	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4
9	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2
10	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,0
11	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9
12	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9
13	10,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9
14	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0
15	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	18,0	18,1
16	18,2	18,3	18,4	18,5	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,3
17	19,4	19,5	19,6	19,8	19,9	20,0	20,1	20,3	20,4	20,5
18	20,6	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8
19	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,7	22,8	23,0	23,1	23,2
20	23,4	23,5	23,7	23,8	24,0	24,1	24,3	24,4	24,6	24,7
21	24,9	25,0	25,2	25,4	25,5	25,7	25,8	26,0	26,1	26,3
22	26,5	26,6	26,8	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9
23	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29,0	29,2	29,3	29,5	29,7
24	29,9	30,0	30,2	30,4	30,6	30,8	31,0	31,1	31,3	31,5
25	31,7	31,9	32,1	32,3	32,5	32,7	32,0	33,0	33,2	33,4
26	33,6	33,8	34,0	34,2	34,4	34,6	34,9	35,1	35,3	35,5
27	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6
28	37,8	38,1	38,3	38,5	38,7	39,0	39,2	39,4	39,6	39,9
29	40,1	40,3	40,6	40,8	41,0	41,3	41,5	41,8	42,0	42,2
30	42,5	42,7	43,0	43,2	43,5	43,7	44,0	44,2	44,5	44,7
31	45,0	45,2	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	47,1	47,3
32	47,6	47,9	48,1	48,4	48,7	49,0	49,2	49,5	49,8	50,1
33	50,4	50,6	50,9	51,2	51,5	51,8	52,1	52,4	52,7	53,0
34	53,5	53,6	53,8	54,2	54,5	54,8	55,1	55,4	55,7	56,0
35	56,3	56,6	56,9	57,2	57,6	57,9	58,2	58,5	58,8	59,2
36	59,5	59,8	60,1	60,5	60,8	61,1	61,5	61,8	62,2	62,5
37	62,8	63,2	63,5	63,9	64,2	64,6	64,9	65,3	65,6	66,0
38	66,3	66,7	67,0	67,4	67,8	68,2	68,5	68,9	69,3	69,6
39	70,0	70,4	70,8	71,1	71,5	71,9	72,3	72,7	73,1	73,5
40	73,8	74,2	74,6	75,0	75,4	75,8	76,2	76,6	77,0	77,4

## Поправки барометра для приведения его показаний к широте 45°

Широта, ... °	Давление, мм рт. ст.							
	710	720	730	740	750	760	770	780
35	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
40	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4
45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,4	+0,4
55	+0,6	+0,6	+0,6	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7
60	+0,9	+0,9	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0
65	+1,2	+1,2	+1,2	+1,2	+1,2	+1,3	+1,3	+1,3

Поправки для приведения барометра к 0 °С  
(при положительной температуре все поправки имеют знак минус)

Температура, °С	Давление, мм рт. ст.							
	710	720	730	740	750	760	770	780
10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
11	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4
12	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
13	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7
14	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8
15	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
16	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
17	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2
18	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3
19	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4
20	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
21	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7
22	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8
23	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9
24	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0
25	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2
26	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3
27	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4
28	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6
29	3,3	3,4	3,4	5,5	3,5	3,6	3,6	3,7
30	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8

Таблица для перевода давления, выраженного в миллиметрах рт. ст.,  
в гектопаскали (гПа)

мм	Целые миллиметры									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
700	933,2	934,6	935,9	937,2	938,6	929,2	941,2	942,6	943,9	945,2
710	946,6	947,9	949,2	950,6	951,9	953,2	954,6	955,9	957,2	958,6
720	959,9	961,2	962,6	963,9	965,2	966,6	967,9	969,2	970,6	971,9
730	973,2	974,6	975,9	977,2	978,6	979,9	981,2	982,6	983,9	985,2
740	986,6	987,9	989,2	990,6	991,9	993,2	994,6	995,9	997,2	998,6
750	999,9	1001,2	1002,6	1003,9	1005,2	1006,6	1007,9	1009,2	1010,6	1011,9
760	1013,2	1014,6	1015,9	1017,2	1018,6	1019,9	1021,2	1022,6	1023,9	1025,2
770	1026,6	1027,9	1029,2	1030,9	1031,9	1033,2	1034,6	1035,9	1037,2	1038,6
780	1039,9	1041,2	1042,6	1043,9	1045,2	1046,6	1047,9	1049,2	1050,6	1051,9
790	1053,2	1054,6	1055,9	1057,2	1058,6	1059,9	1061,2	1062,6	1063,9	1065,2

Добавочная таблица для перевода десятых долей миллиметров в гПа

Десятые доли мм	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Десятые доли гПа	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2

Изменение интенсивности заморозков и других агрометеорологических показателей в зависимости от формы рельефа (по И. А. Гольцберг)

Форма рельефа	Холодный воздух		Степень заморозкоопасности, баллы	Изменение		
	приток	сток		минимальной температуры воздуха весной и осенью, °С	продолжительности безморозного периода, число дней	суммы температур воздуха за счет изменения продолжительности безморозного периода, °С
Вершины, верхние и средние части крутых склонов (относительная высота от 50 до 150 м, уклон более 10°)	Нет	Хороший	1	3—5	15—25	150—200
Вершины и верхние части пологих склонов (относительная высота от 5 до 50 м, уклон 3—10°)	„	Есть	2	1—3	5—15	50—150
Равнины, плоские вершины, дно широких (более 1 км) открытых долин в средней части	„	Нет	3	0	0	0
Средние части пологих склонов (уклон 3—10°)	Есть	Есть	3	0	0	0
Дно и нижние части склонов узких долин с большим уклоном вдоль оси долины	„	Хороший	1	3—5	15—25	150—200
То же с умеренным уклоном	„	Есть	2	1—3	5—15	50—150
Долины больших рек, берега крупных водоемов	„	„	2	2—4	10—20	100—200
Дно и нижние части склонов нешироких глубоких долин с большим уклоном вдоль оси долины	„	„	3	0	0	0
То же со слабым уклоном	„	Слабый	4	—2... —3	—10... —15	—100... —200
Дно и нижние части склонов нешироких, извилистых, замкнутых долин	„	Почти нет	5	—3... —5	—15... —25	—200... —300
Котловины	„	Нет	5	—4... —6 и более	—20... —30 и более	—250... —300 и более
Нижние части склонов	„	Слабый	4	—3... —5	—15... —25	—200... —300
Замкнутые плоские долины	„	Почти нет	5	—4... —6 и более	—20... —30 и более	—250... —300 и более

**Устойчивость сельскохозяйственных культур против заморозков в разные фазы развития (температуры даны на уровне растений)**

Культура	Температура					
	начала повреждения и частичной гибели, °С			гибели большинства растений, °С		
	всходы	цветение	созревание (молочная спелость)	всходы	цветение	созревание (молочная спелость)

**Наиболее устойчивые против заморозков**

Пшеница яровая	-9, -10	-1, -2	-2, -4	-10, -12	-2	-4
Овес	-8, -9	-1, -2	-2, -4	-9, -11	-2	-4
Ячмень	-7, -8	-1, -2	-2, -4	-8, -10	-2	-4
Чечевица	-7, -8	-2, -3	-	-8, -10	-3	-
Горох	-8, -9	-3	-3, -4	-8, -10	-3, -4	-4

**Устойчивые против заморозков**

Вика яровая	-7, -8	-2, -3	-2, -3	-8, -9	-3	-3, -4
Бобы	-6, -7	-2, -3	-	-6, -7	-3	-3, -4
Подсолнечник	-5, -6	-1, -2	-2, -3	-7, -8	-3	-3
Лен, конопля	-5, -7	-1, -2	-2, -4	-7	-2	-4
Свекла сахарная	-6, -7	-2, -3	-	-8	-3	-
Свекла кормовая	-6, -7	-2, -3	-	-8	-3	-
Морковь, турнепс	-6, -7	-	-	-8	-	-

**Среднеустойчивые против заморозков**

Люпин желтый	-4, -5	-2, -3	-	-6	-3	-
Соя	-3, -4	-2	-	-4	-2	-
Редис	-4, -5	-	-	-6	-	-
Могар	-3, -4	-1, -2	-	-4	-2	-

**Малоустойчивые против заморозков**

Кукуруза	-2, -3	-1, -2	-2, -3	-3	-2	-3
Просо, картофель	-2	-2	-1, -2	-2, -3	-2, -3	-3

**Неустойчивые против заморозков**

Огурцы, томаты	-1, -2	-	-	-2	-	-
Гречиха	-1, -2	-1	-1,5, -2	-2	-1	-2
Хлопчатник	-0,5, -1	-0,5, -1	-	-1	-1	-
Фасоль	-0,5, -1,5	-0,5, -1	-2	-1, -5	-1	-2
Рис	-0,5	-1	-0,5	-1	-0,5	-
Бахчевые	-0,5, -1	-0,5, -1	-0,5	-1	-1	-1



**Эталонные классы агрометеорологических условий формирования урожая ранних яровых зерновых культур по фазам развития (по Е. К. Зондзе, ВНИИСХМ)**

Эталонный класс	Количественные показатели			Качественные показатели	
	температура воздуха, °С	сумма осадков, мм	дефицит насыщения воздуха, гПа	наличие засух, суховеев	наличие заморозков
Сев — кушение					
Оптимальный	9—13	20—30	6—8	Нет	Нет
Относительно благоприятный:					
относительно засушливый	13—18	15—20	8—10	Нет	Нет
относительно переувлажненный	7—9	30—50	5—6	Нет	Нет
Неблагоприятный:					
засушливый	18—25	5—15	10—15	Да, нет	Да, нет
избыточно влажный	5—7	50—70	3—5	Да, нет	Да, нет
Очень неблагоприятный:					
очень засушливый	>25	0—5	>15	Да, нет	Да, нет
сверхвлажный	<5	>70	<3	Да, нет	Да, нет

## Эталонные классы метеорологических условий перезимовки озимых культур (по Е. К. Зойдце, ВНИИСХМ)

Эталонный класс	Количественные показатели						Качественные показатели	
	температура почвы на глубине узла кущения, °С	сумма минимальных температур воздуха ниже -10 °С	сумма минимальных температур воздуха ниже 0 °С	высота снежного покрова за период с температурой ниже -10 °С, см	высота снежного покрова за период с температурой ниже 0 °С, см	количество продуктивных стеблей, шт.	наличие оттепели	наличие интенсивной оттепели с последующим похолоданием
Оптимальный	-5, -8	-1000, -1400	-2800, -3200	10-20	15-25	400-600	Нет	Нет
Относительно благоприятный:								
недостаток	>-5	>-1000	>-2800	>20	>25	250-400	Нет	Нет
избыток	<-8	<-1400	<-3200	<10	<15	600-700	Нет	Нет
Неблагоприятный:								
недостаток	>-3	>-600	>-1800	>25	>30	100-250	Да, нет	Да, нет
избыток	<-15	<-2000	<-4000	<5	<10	750-1000	Да, нет	Да, нет
Очень неблагоприятный								
недостаток	>5	>-200	>-400	>30	>35	<100	Да, нет	Да, нет
избыток	<-25	<-2500	<-4800	<5	<10	>1000	Да, нет	Да, нет

## Шкала для визуального определения влажности почвы (по С. В. Астахову)

Почвы	Ориентировочные значения влажности, % от массы абсолютно сухой почвы			
	15	15—20	20—25	25—30
Легкие (легкосуглинистые)	Почва влажная; комок хорошо формируется; шарик формируется, но при нажатии легко рассыпается	Почва сырая; комок прочный, шарик формируется, но при нажатии легко рассыпается, шнур образуется с затруднением и очень короткий	Почва мокрая, комок лепится, шнур образуется длинный, легко разбивается на короткие шнуры	Почва течет и просачивается между пальцами
Средние (среднесуглинистые)	Почва слегка влажная; комок и шарик формируются хорошо, при раскатывании шарика шнур не образуется	Почва влажная; комок формируется прочно; при раскатывании образуются короткие шнуры	Почва сырая, комок лепится хорошо, при раскатывании шара образуется длинный шнур	Почва влажная, комок лепится хорошо; шнур длинный и прочный
Тяжелые (тяжелосуглинистые и глинистые)	Почва сухая; комок в руке формируется плохо; при раскатывании шнур легко рассыпается	Почва влажная; комок формируется хорошо; при раскатывании шарика шнур не образуется	Почва влажная, комок прочный, при раскатывании шарика образуются короткие шнуры	Почва мокрая; комок лепится; шарик прочный; шнур длинный и прочный

**Шкала оценки соответствия запасов доступной воды в почве потребностям сельскохозяйственных культур в различные периоды вегетации**

Слой почвы, см	Фазы развития	Запасы доступной воды, мм	Оценка запасов воды
<b>Зерновые колосовые</b>			
0—20	Сев — всходы	<5	Семена не прорастают
0—20	То же	5—10	Неудовлетворительные, прорастание семян задерживается, всходы изреженные
0—20	„	11—20	Недостаточные
0—20	„	21—30	Достаточные, обеспечивают появление дружных всходов
0—20	„	>30	Оптимальные
0—20	Всходы — кущение	<10	Небольшие, состояние растений ухудшается
0—20	То же	11—20	Недостаточные
0—20	„	>30	Хорошие и отличные, обеспечивают нормальное кущение и укоренение растений
0—20	Выход в трубку — цветение	20—30 и более	Достаточные
0—100	То же	≤60—80	Недостаточные
0—100	„	90—100	Удовлетворительные
0—100	„	101—120	Хорошие
0—100	„	121—175	Оптимальные
0—100	Цветение — восковая спелость (формирование и налив зерна)	≤25	Неудовлетворительные, вызывают уменьшение абсолютной массы зерна
0—100	То же	30—50	Достаточные
0—100	„	60—80	Оптимальные
0—100	„	≥125	Избыточные, возможно полегание посевов
0—100	К началу весны	<60	Очень плохие
0—100	То же	61—90	Неудовлетворительные
0—100	„	91—130	Удовлетворительные
0—100	„	131—160	Хорошие
0—100	„	>160	Отличные
<b>Картофель</b>			
0—20	Клубнеобразование	≤10	Недостаточные
0—20	То же	11—20	Удовлетворительные
0—20	„	21—30	Хорошие
0—20	„	31—40	Очень хорошие

Слой почвы, см	Фазы развития	Запасы доступной воды, мм	Оценка запасов воды
0—20	Клубнеобразова- ние	>50	Почва переувлаж- нена, условия клуб- необразования ухуд- шились
0—50	Цветение — увя- дание ботвы	11—30	Недостаточные
0—50	То же	31—50	Удовлетворительные
0—50	„	51—60	Хорошие
0—50	„	61—70	Очень хорошие
0—50	„	>100	Почва переувлажне- на, условия клубне- образования ухуд- шились
0—100	„	80—100 и болле	Достаточные
<b>Подсолнечник</b>			
0—20	Сев — всходы	≤10	Недостаточные
0—20	„	11—20	Удовлетворительные
0—20	„	21—30 и больше	Хорошие
0—100	Образование со- цветий — цветение	≤60	Недостаточные для получения среднего урожая
0—100	То же	61—90	Удовлетворительные
0—100	„	91—130	Хорошие

Приложение 7

**Сведения об агрометеорологических данных, необходимые для решения задач земледелия в основные периоды сельскохозяйственных работ**

Решаемая задача	Перечень агрометеорологических элементов и условий
-----------------	--

**Предпосевной и посевной периоды**

Уточнение структуры посевных площадей, способов и сроков боронования и подкормки озимых, предпосевной обработки почвы, посева, установление глубины заделки семян, норм высева и др.

Сроки схода снежного покрова; глубина промерзания почвы; сроки оттаивания почвы; температура поверхности почвы и на глубинах весной; дата последнего заморозка; сроки перехода температуры воздуха через 0, 5, 10 °С весной; сроки возобновления вегетации озимых; запасы продуктивной влаги в почве; температура воздуха; сумма осадков

**Период ухода за пропашными и техническими культурами**

Уточнение сроков, площадей, очередности, способов и глубины обработки почвы, подсева, видов, сроков и норм внесения удобрений, гербицидов и др.

Запасы продуктивной влаги в почве; температура почвы; сроки наступления фаз развития; температура воздуха; сумма эффективных и активных температур; дата последнего заморозка; продолжительность солнечного сияния; сумма осадков; число дней с относительной влажностью воздуха ≤ 30 % и ≥ 80 %; число дней с суховеем

Решаемая задача	Перечень агрометеорологических элементов и условий
-----------------	--

**Период уборки колосовых культур и сеноуборки**

Определение сроков, площадей, очередности, способов и норм выработки на уборочных работах. Решение вопросов о способах подготовки почвы под посев озимых и др.

Запасы продуктивной влаги в почве; температура почвы; сроки наступления фаз развития; температура воздуха; сумма эффективных и активных температур; сумма осадков; суточное количество осадков; число дней с относительной влажностью воздуха  $\leq 30\%$  и  $\geq 80\%$ ; число дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с; число дней с суховеем; даты перехода температуры воздуха через заданные пределы

**Период посева озимых**

Уточнение способов, сроков, размеров площадей и очередности посева озимых, глубины заделки семян, норм высева и ухода за посевами

Запасы продуктивной влаги в почве; температура почвы; сроки наступления фаз развития; температура воздуха; сумма активных температур; продолжительность солнечного сияния; сумма осадков; даты перехода температуры воздуха через заданные пределы

**Период уборки пропашных и технических культур**

Уточнение сроков, очередности, способов и норм выработки. Решение вопросов о способах и площадях осенней подготовки почвы. Заготовительные работы

Запасы продуктивной влаги в почве; температура воздуха; сроки наступления фаз развития; температура почвы; дата первого заморозка; сумма осадков; суточное количество осадков; число дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м; даты перехода температуры воздуха через заданные пределы

**Период подготовки к перезимовке озимых**

Уточнение сроков, норм и площадей подкормки и подсева озимых и др.

Запасы продуктивной влаги в почве; температура почвы; продолжительность солнечного сияния; сроки наступления фаз развития; температура воздуха; сумма осадков; даты перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С; осень; сумма температур

**Период перезимовки озимых и подготовки к весенним полевым работам**

Уточнение сроков, способов, площадей снегонакопления и задержания талых вод, разрушения ледяной корки или рыхления снега, подсева и пересева озимых, подготовки машинного парка, посевного материала, удобрений и т. д.

Характеристики снежного покрова; глубина промерзания почвы; запасы продуктивной влаги в почве; условия перезимовки озимых; число дней с оттепелью; температура почвы; температура воздуха; сумма осадков

**Примечание.** Учет текущих значений метеорологических элементов позволяет провести агрометеорологическое обоснование технологических приемов выращивания сельскохозяйственных культур.

Можно указать несколько простых способов сопоставления агрометеорологической информации для ее использования при решении вопросов управления технологией сельскохозяйственного производства:

— простое сопоставление текущих значений метеорологических элементов с их средними многолетними или оптимальными показателями;

— сравнение текущих данных путем расчета показателя существенности отклонений;

— сопоставление сложившихся условий и потребностей растений с помощью коэффициента соответствия.

Простое сопоставление текущих и средних многолетних или оптимальных значений метеорологических элементов производится путем вычисления разностей между ними. По знаку и величине отклонения оценивается необходимость качественных изменений в технологии производства.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас облаков/Под ред. А. Х. Хргиана, Н. И. Новожилова. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 200 с.
2. Атлас запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на Европейской части СССР. — М. 1987. — 76 с.
3. Гольцберг И. А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. — Л.: Гидрометеоздат, 1961. — 198 с.
4. Грингоф И. Г., Попова В. В., Страшный В. Н. Агрометеорология. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 310 с.
5. Агроклиматический справочник. Серия областных и республиканских справочников. — Л.: Гидрометеоздат, 1958—1961.
6. Агроклиматические ресурсы области. Серия областных и республиканских справочников. — Л.: Гидрометеоздат, 1970—1977.
7. Вериго С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага. — Л.: Гидрометеоздат, 1973. — 327 с.
8. Давитая Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. — М.: Гидрометеоздат, 1964. — 131 с.
9. Каюмов М. К. Справочник по программированию урожаяев. — М.: Россельхозиздат, 1977. — 186 с.
10. Моисейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. — Л.: Гидрометеоздат, 1975. — 298 с.
11. Стернзат М. С. Метеорологические приборы и измерения. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 392 с.
12. Руднев Г. В. Метеорология на службе урожая. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 160 с.
13. Руководство для агрометеорологических постов колхозов и совхозов. — Л.: Гидрометеоздат, 1980. — 147 с.
14. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии/Под ред. И. Г. Грингофа. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 528 с.
15. Полевой А. Н. Сельскохозяйственная метеорология. — С.-Петербург: Гидрометеоздат, 1992. — 424 с.
16. Лосев А. П. Погода и урожай яблони. — Л.: Гидрометеоздат, 1979. — 88 с.
17. Лосев А. П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 144 с.
18. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 309 с.
19. Уланова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. — Л.: Гидрометеоздат, 1975. — 302 с.
20. Уланова Е. С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур. — Л.: Гидрометеоздат, 1988. — 53 с.
21. Павлова М. Д. Практикум по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 184 с.



22. Подольский А. С. Фенологический прогноз. — М.: Колос, 1974. — 287 с.
23. Федосеев А. П. Агротехника и погода. — Л.: Гидрометеоздат, 1979. — 240 с.
24. Кельчевская Л. С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. — Л.: Гидрометеоздат, 1971. — 315 с.
25. Сенников В. А., Огородников Б. И. Методические указания к проведению учебно-полевой практики по метеорологии. — М.: Сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, 1975. — 26 с.
26. Чирков Ю. И. Агрометеорология. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 293 с.
27. Шульгин А. М. Агрометеорология и климатология. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 200 с.
28. Цупенко Н. Ф. Справочник агронома по метеорологии. — Киев: Урожай, 1990. — 240 с.
29. Шатилов И. С., Чудновский А. Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. — Л.: Гидрометеоздат, 1980. — 316 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> . . . . .	3
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .	5
<b>Глава 1. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ</b> . . . . .	6
1.1. Атмосферное давление. Единицы давления . . . . .	—
1.2. Приборы для измерения атмосферного давления . . . . .	—
1.3. Поправки и приведение атмосферного давления к уровню моря . . . . .	9
Работа 1. Измерение атмосферного давления . . . . .	10
Работа 2. Измерение атмосферного давления анероидом. Барометрическое нивелирование . . . . .	12
<b>Глава 2. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ В АТМОСФЕРЕ И НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ</b> . . . . .	16
2.1. Солнечная радиация. Единицы измерения солнечной радиации . . . . .	—
2.2. Приборы и методы измерения потоков солнечной радиации . . . . .	17
Работа 3. Измерение рассеянной и суммарной радиации . . . . .	21
Работа 4. Измерение суммарной и отраженной радиации. Вычисление альbedo поверхности . . . . .	24
<b>Глава 3. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ И ВОЗДУХА</b> . . . . .	27
3.1. Температура. Единицы измерения температуры . . . . .	—
3.2. Измерение температуры почвы и воздуха . . . . .	—
3.3. Измерение температуры почвы на разных глубинах . . . . .	29
3.4. Измерение глубины промерзания почвы . . . . .	35
Работа 5. Измерение температуры воздуха . . . . .	36
Работа 6. Измерение температуры воздуха с помощью термографа. Обработка ленты суточного хода температуры воздуха . . . . .	38
Работа 7. Измерение температуры почвы . . . . .	43
<b>Глава 4. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА</b> . . . . .	46
4.1. Величины, характеризующие влажность воздуха . . . . .	—
4.2. Приборы для измерения влажности воздуха . . . . .	47
Работа 8. Измерение влажности воздуха . . . . .	51
Работа 9. Измерение влажности воздуха с помощью гигрографа . . . . .	55
<b>Глава 5. ОСАДКИ. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ</b> . . . . .	59
5.1. Осадки. Измерение осадков . . . . .	—
5.2. Приборы для измерения осадков . . . . .	60
Работа 10. Измерение осадков и расчет запасов воды . . . . .	65
Работа 11. Измерение плотности снега и запасов воды в снежном покрове . . . . .	67

<b>Глава 6. ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА. ИСПАРЕНИЕ . . . . .</b>	<b>71</b>
6.1. Влажность почвы . . . . .	—
6.2. Измерение влажности почвы . . . . .	72
6.3. Испарение с поверхности почвы и растений . . . . .	73
Работа 12. Определение влажности почвы . . . . .	76
<b>Глава 7. ВЕТЕР У ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ . . . . .</b>	<b>79</b>
7.1. Характеристика ветра . . . . .	—
7.2. Приборы для измерения направления и скорости ветра . . . . .	—
7.3. Роза ветров . . . . .	84
Работа 13. Измерение скорости и направления ветра. Построение розы ветров . . . . .	85
<b>Глава 8. ПРОДУКТЫ КОНДЕНСАЦИИ И СУБЛИМАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА . . . . .</b>	<b>89</b>
8.1. Конденсация водяных паров . . . . .	—
8.2. Классификация облаков . . . . .	90
Работа 14. Знакомство с классификацией облаков и определение их форм . . . . .	91
<b>Глава 9. ОЦЕНКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ . . . . .</b>	<b>96</b>
9.1. Виды неблагоприятных для сельского хозяйства стихийных метеорологических явлений . . . . .	—
9.2. Заморозки. Прогноз заморозков . . . . .	—
Работа 15. Предсказание заморозков . . . . .	98
9.3. Засухи и суховеи . . . . .	103
Работа 16. Расчет начала наступления засухи, суховея и их интенсивности . . . . .	107
<b>Глава 10. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТА . . . . .</b>	<b>111</b>
10.1. Оценка климата для сельскохозяйственного производства . . . . .	—
10.2. Оценка световых ресурсов вегетационного периода . . . . .	112
10.3. Оценка термических ресурсов вегетационного периода . . . . .	113
10.4. Расчет обеспеченности вегетационного периода суммами температур . . . . .	116
10.5. Расчет накопления сумм температур выше 10°С в течение вегетационного периода . . . . .	117
Работа 17. Расчет термических ресурсов вегетационного периода и теплообеспеченности растений . . . . .	119
10.6. Оценка условий увлажнения вегетационного периода . . . . .	123
Работа 18. Оценка условий увлажнения вегетационного периода . . . . .	127
Работа 19. Рекомендации по учету агрометеорологических данных для решения отдельных задач в земледелии . . . . .	132
<b>Глава 11. УЧЕТ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР . . . . .</b>	<b>137</b>
11.1. Методы определения оптимальных сроков сева озимых зерновых культур . . . . .	—
11.2. Влияние агрометеорологических условий на продолжительность межфазных периодов растений . . . . .	139

11.3. Оценка агроклиматических и агрометеорологических условий формирования продуктивности озимых зерновых культур . . . . .	141
11.4. Расчет урожайности зерновых культур в зависимости от метеорологических факторов . . . . .	145
Работа 20. Расчет сроков наступления основных фаз развития озимой пшеницы по температуре воздуха . . . . .	146
Работа 21. Оценка состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения осенней вегетации . . . . .	148
<b>Глава 12. МЕТОДЫ УЧЕТА И ОЦЕНКИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЕРЕЗИМОВКИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР . . . . .</b>	<b>151</b>
12.1. Оценка агрометеорологических условий перезимовки озимых культур и причин, вызывающих их гибель . . . . .	—
12.2. Комплексная оценка агроклиматических условий перезимовки озимых . . . . .	155
Работа 22. Расчет изреженности посевов озимой пшеницы от вымерзания . . . . .	157
Работа 23. Расчет гибели озимых культур по агроклиматическому показателю условий перезимовки . . . . .	163
<b>Глава 13. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ . . . . .</b>	<b>166</b>
13.1. Основные группы агрометеорологических прогнозов . . . . .	—
Работа 24. Прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу полевых работ . . . . .	167
Работа 25. Прогноз сроков цветения плодовых культур . . . . .	172
Работа 26. Прогноз урожайности зерна кукурузы . . . . .	177
Работа 27. Прогноз урожайности озимой пшеницы . . . . .	180
Работа 28. Агрометеорологический прогноз качества зерна озимой пшеницы . . . . .	184
<b>Глава 14. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОГРАММИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ . . . . .</b>	<b>189</b>
14.1. Учет климатических и метеорологических условий в программировании урожайности . . . . .	—
14.2. Категории урожайности и их лимитирующие факторы . . . . .	190
Работа 29. Расчет урожайности зерновых культур . . . . .	196
<b>Глава 15. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ . . . . .</b>	<b>200</b>
15.1. Экономический эффект от использования агрометеорологической информации в сельскохозяйственном производстве . . . . .	—
15.2. Расчет экономического эффекта от использования агрометеорологической информации по перезимовке озимых зерновых культур . . . . .	202
15.3. Расчет экономического эффекта от использования гидрометеорологической информации в районах орошаемого земледелия . . . . .	203
Работа 30. Расчет экономического эффекта от использования прогноза перезимовки озимой пшеницы . . . . .	204
	243

<b>Глава 16. УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА ПО АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАСТЕНИЕВОДСТВА (в соавторстве с В. А. Сенниковым)</b> . . . . .	<b>208</b>
16.1. Цель и задачи учебной практики . . . . .	—
16.2. Задания по учебной практике . . . . .	209
Работа 31. Составление характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода . . . . .	—
16.3. Рекомендации по составлению письменного отчета по работе 31 . . . . .	212
16.3.1. Составление характеристики агрометеорологических условий вегетационного периода . . . . .	—
Работа 32. Микроклиматическая съемка сельскохозяйственных полей на участках с различными сельскохозяйственными культурами . . . . .	216
<b>Приложения</b> . . . . .	<b>227</b>
<b>Рекомендуемый список литературы</b> . . . . .	<b>238</b>