

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ – БАКАЛАВРИАТ

серия основана в 1996 г.



**Л.Л. ЖУРИНА**

# **АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ**

**УЧЕБНИК**

*3-е издание, переработанное и дополненное*

*Допущено  
Министерством сельского хозяйства  
Российской Федерации в качестве учебника  
для студентов высших учебных заведений  
по направлениям подготовки 35.03.03 «Агрохимия  
и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия»  
и 35.03.05 «Садоводство»*

Электронно-  
Библиотечная  
Система  
znanium.com

Москва  
ИНФРА-М  
2018

УДК 551.5(075.8)

ББК 40.2я73

Ж91

Рецензенты:

*С.П. Савватеев*, канд. техн. наук, доцент Российского государственного гидрометеорологического университета;

*Т.И. Завьялова*, канд. с.-х. наук, доцент Санкт-Петербургского аграрного университета;

*В.Д. Петрушенко*, канд. геогр. наук, доцент Российского государственного гидрометеорологического университета

**Журина Л.Л.**

Ж91 Агрометеорология : учебник / Л.Л. Журина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 350 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/14563](http://www.dx.doi.org/10.12737/14563).

ISBN 978-5-16-010054-8 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-101755-5 (ИНФРА-М, online)

Изложены теоретические аспекты влияния гидрометеорологических факторов на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур. Показана сущность опасных для сельскохозяйственного производства гидрометеорологических явлений и способы защиты от них. Рассмотрены методы оценки климата с позиций общего и частного агроклиматического районирования на основе мезо- и микроклиматических исследований. Приведены примеры агроклиматического обоснования агротехнических и агроулучшающих приемов в сельскохозяйственном производстве. В настоящем, третьем, издании представлен раздел о глобальном изменении климата Земли и сценариях возможных экологических последствий для сельского хозяйства России. Рассмотрен вопрос использования геоинформационных систем в сельскохозяйственном производстве. Расширена география примеров частного агроклиматического районирования. Переработаны и дополнены вопросы и задания к главам.

Предназначен для студентов сельскохозяйственных вузов, также может быть использован при изучении курсов «Агрометеорология» и «Агроклиматология» в других высших и средних учебных заведениях.

УДК 551.5(075.8)

ББК 40.2я73

ISBN 978-5-16-010054-8 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-101755-5 (ИНФРА-М, online)

© Журина Л.Л., 2015

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

---

Настоящий учебник подготовлен в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по дисциплине «Агрометеорология» и предназначен для студентов сельскохозяйственных вузов. Он также может быть использован при изучении курса «Агрометеорология» в других высших и средних учебных заведениях.

Цель дисциплины — формирование у будущих специалистов знаний о метеорологических условиях и их взаимодействии с процессами роста, развития, продуктивности сельскохозяйственных культур и агротехнических мероприятий.

В результате изучения дисциплины студент должен иметь представление о физических основах явлений и процессов, происходящих как в приземном слое, так и в атмосфере в целом в связи с их влиянием на объекты и процессы сельскохозяйственного производства.

Учебник представляет собой самостоятельно подготовленное автором издание. Издания, материал которых использован, перечислены в конце как основная и дополнительная литература.

Автор приносит благодарность рецензентам: доцентам Т.И. Завьяловой, С.П. Савватееву и В.Д. Петрушенко за внимательное прочтение рукописи и советы, направленные на ее улучшение.

Автор также считает своим долгом отметить, что появлению учебника способствовало многолетнее сотрудничество с замечательным человеком, профессором Алексеем Петровичем Лосевым, являющимся автором нескольких учебных пособий по курсу «Агрометеорология».

Работа крестьянина напоминает мне шахматную партию, в которой погода имеет преимущество первого хода. Своевременный ответный ход возможен в том случае, если он к нему подготовлен.

*Т.С. Мальцев*

## **ВВЕДЕНИЕ**

---

Продуктивность агрофитоценозов зависит от многих факторов среды их обитания, среди которых климатические и погодные занимают существенное место.

По климатическим ресурсам тепла и влаги сельское хозяйство в России почти вдвое менее обеспечено, чем в странах Западной Европы и Северной Америки. А это означает, что продуктивность, например, 1 га пашни потенциально в России в 1,5...2 раза ниже и для получения одного и того же урожая в нашей стране необходимы большие капиталовложения.

Неустойчивость погоды: смена засушливых лет влажными, суровых зим теплыми — вызывает значительную изменчивость валовых сборов сельскохозяйственной продукции. По данным научных учреждений в большинстве сельскохозяйственных регионов России на долю погодных условий приходится 40...50% общей амплитуды колебаний урожайности культур и лишь одна треть посевных площадей расположена в зоне гарантированных урожаев.

Несмотря на совершенствование агротехники возделывания культур, погода по-прежнему остается лимитирующим фактором в сельском хозяйстве всего земного шара. Не случайно на одной из всемирных конференций по климату отмечалось, что прогресс в сельском хозяйстве в долгосрочной перспективе будет определяться научно-техническими достижениями не только в биологии и технике, но и в области совершенствования методов получения и учета в сельскохозяйственном производстве информации о погоде и климате и что с повышением научно-технического уровня производства в сельском хозяйстве роль метеорологических факторов не ослабевает, а возрастает.

Это связано с тем, что новые высокопродуктивные сорта и гибриды, имеющие более высокий уровень обмена веществ и энергии, обладают повышенной чувствительностью к условиям среды и поэтому нуждаются в максимальной оптимизации водного, теплового и пищевого режимов.

## ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

*Агрометеорология, или сельскохозяйственная метеорология, — наука, изучающая метеорологические, климатические, гидрологические условия в их взаимодействии с объектами и процессами сельскохозяйственного производства. Иначе говоря, агрометеорология изучает климат и погоду применительно к запросам сельского хозяйства.*

Особенность агрометеорологии как науки заключается в том, что она находится на стыке различных областей знаний — метеорологии, климатологии, биологии, почвоведения и др.

Объектами изучения агрометеорологии являются погода, климат, водный и тепловой режимы почв, сельскохозяйственные культуры и процессы сельскохозяйственного производства.

Важнейшие задачи агрометеорологии:

- изучение и описание закономерностей формирования метеорологических и климатических условий сельскохозяйственного производства в пространстве и времени;
- разработка методов количественной оценки влияния метеорологических факторов на состояние почвы, развитие, рост и формирование урожая агрофитоценозов, на развитие и распространение вредителей и болезней сельскохозяйственных культур;
- разработка методов агрометеорологических прогнозов и усовершенствование форм агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства;
- агроклиматическое районирование новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, агроклиматическое обоснование агротехнических приемов для наиболее полного и рационального использования ресурсов климата;
- агроклиматическое обоснование приемов мелиорации земель и изменения микроклимата полей, внедрения индустриальных технологий в растениеводстве, в том числе дифференцированного применения агротехники в соответствии со сложившимися и ожидаемыми условиями погоды;
- разработка способов защиты от неблагоприятных и опасных для растений гидрометеорологических явлений.

В сельском хозяйстве используют разнообразную гидрометеорологическую информацию.

При *выборе проектных решений* обосновывают рациональное размещение и специализацию сельского хозяйства, районирование культур и сортов сельскохозяйственных растений, создание гидро-мелиоративных систем и т.д. При этом используют климатическую и агроклиматическую информацию.

При *выработке плановых решений* планируют размеры урожаев, определяют потребности в удобрениях и ядохимикатах, объемы поливной воды, составляют графики полевых работ и т.д. Здесь в первую очередь используется текущая оперативная агрометеорологическая и гидрологическая информация, анализируются сложившиеся агрометеорологические условия применительно к конкретным полям и культурам, а также гидрометеорологические прогнозы различной заблаговременности.

При *принятии оперативно-хозяйственных решений* разрабатывают действия непосредственного управления технологическими процессами в период вегетации растений. Для этого используют оперативную информацию о фактическом состоянии погоды, почвы, посевов и гидрометеорологические прогнозы.

### **МЕТОДЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

К числу основных методов агрометеорологических исследований относятся следующие.

*Метод сопряженных (параллельных) наблюдений* за состоянием, ростом, развитием растений и метеорологическими условиями, в которых произрастают объекты наблюдений. С помощью этого метода на материалах полевых и лабораторных наблюдений устанавливают количественные и качественные связи между условиями погоды и ростом, развитием и формированием продуктивности растений, выявляют их потребность в основных факторах среды — количестве света, тепла, влаги, питательных веществ, определяют пороговые (критические) значения этих факторов для различных культур и сортов.

Этот принцип (сопряженности) сохраняется в деятельности всей наблюдательной агрометеорологической сети национальных гидрометеорологических служб в системе Всемирной метеорологической организации (ВМО).

*Метод учащенных сроков сева* предполагает высев растений через каждые, например, 5...10 сут., начиная с весны и до конца вегетационного периода. При этом растения попадают в неодинаковые условия тепла, влаги и освещенности. Сопряженные наблюдения за метеорологическими условиями, ростом и развитием растений позволяют собрать разнообразные сведения о реакции растений на изменяющиеся условия их произрастания. В результате опыта даже в течение одного года можно получить информацию о влиянии разных комплексов метеорологических параметров на исследуемое растение в данной местности. Этот метод применяется на делянках одного поля или в лабораторных условиях.

*Метод географических посевов* применяют в различных почвенно-климатических зонах страны или одновременно в нескольких странах. Этот метод позволяет решать ту же задачу, что и метод учасочных сроков сева, так как посеы данного сорта в разных климатических зонах находятся в различных условиях увлажнения, температуры, длины дня и т.д. Этот метод позволяет определить районы, где данный сорт культуры дает высокие и качественные урожаи.

*Экспериментально-полевой метод*, при котором в полевых опытах с помощью специальных конструкций (камер искусственного климата, теплиц, газометрических экологических камер и др.) и приемов изменяют агрометеорологические условия возделывания растений (регулируют по программе опыта температуру и влажность почвы, продолжительность и интенсивность освещения, высоту снежного покрова, нормы вносимых удобрений и т.п.).

*Метод дистанционного (неконтактного) определения параметров* состояния подстилающей поверхности (почвы, растительного покрова), фенологии растений, температуры и влажности, объемов биомассы, отдельных элементов продуктивности растений и т.д. предусматривает использование специальной аппаратуры, устанавливаемой на летательных аппаратах (на самолетах, вертолетах, а также на искусственных спутниках Земли) или на различных видах наземного транспорта. Результаты измерений, полученные этим методом, дают информацию об изучаемых объектах на больших площадях.

В последние годы создана сеть аэрофотометрических экспедиций, обследующих состояние посевов и определяющих урожайность естественных пастбищ на больших площадях с помощью дистанционного метода.

*Картографический метод* исследования заключается в использовании разнообразных карт для выявления климатических и микроклиматических особенностей территории в их статике и динамике для наиболее рационального размещения объектов сельскохозяйственного производства.

*Метод математической статистики* позволяет обрабатывать массовые материалы наблюдений для установления связи развития и формирования продуктивности растений с условиями погоды.

*Метод математического моделирования* заключается в построении математической модели, позволяющей с помощью математического аппарата описывать влияние агрометеорологических условий на рост и развитие растений, их продуктивность, а также процессы тепло-, влаго- и энергообмена в системе почва — растение — атмосфера.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВА В АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Методы агрометеорологических исследований базируются на использовании основных биологических законов земледелия и растениеводства. Важнейшие из них следующие.

*Закон неравноценности факторов среды для растений.* Сущность его заключается в том, что не все факторы среды оказывают одинаковое воздействие на растения. Их можно разделить на основные и второстепенные. Основные факторы (свет, тепло, воздух, влага, почва) одинаково необходимы растениям, они оказывают непосредственное и значительное влияние на них. К второстепенным факторам относятся ветер, облачность, туман, ориентация и крутизна склонов и пр. Они усиливают или ослабляют действие основных факторов. Так, ветер смягчает действие заморозков, облачность уменьшает ночью охлаждение почвы. Основные факторы влияют на растения в течение всего периода вегетации и на всей территории их произрастания, второстепенные — лишь в отдельные периоды и на небольших территориях.

*Закон равнозначности (или незаменимости) основных факторов жизни.* Он гласит: «Все факторы значимы и незаменимы». Сущность его состоит в том, что ни один из необходимых для развития растений факторов не может быть ни исключен, ни заменен другим. Так, свет нельзя заменить теплом, тепло — влагой и т.д. Отсутствие любого из них резко снижает продуктивность и даже приводит к гибели растений.

*Закон минимума (или лимитирующего фактора),* согласно которому при оптимальных прочих условиях урожайность определяется фактором, находящимся в минимуме. Например, в засушливых районах лимитирующий фактор урожая — количество влаги. Урожай растений будет возрастать при устранении этого минимума и до тех пор, пока в недостатке не окажется другой фактор.

*Закон максимума* говорит о том, что количественное изменение параметров экологических условий не может увеличить биологическую продуктивность экосистемы или хозяйственную производительность агроценоза сверх вещественно-энергетических лимитов, определенных наследственными свойствами биологических объектов и их сообществ.

*Закон оптимума (или совокупного действия),* согласно которому наивысшая продуктивность растений обеспечивается только оптимальным сочетанием всех факторов, влияющих на рост и развитие растений.

К.А. Тимирязев и Д.Н. Прянишников неоднократно подчеркивали, что наивысшей продуктивности растение достигает при непре-



рывном притоке всех необходимых факторов жизни в оптимальном количестве и в соответствии с потребностями каждого вида и сорта.

Даже при незначительном отклонении условий среды от оптимальных в тот или иной период роста растений потенциально возможная биологическая продуктивность не достигается, а при аномальных условиях погоды и недостатке питания растений отдельные элементы продуктивности (побеги, колоски в колосе, цветки, зерновки) погибают и урожайность падает особенно сильно.

*Закон критических периодов* сводится к тому, что в жизни каждого растения имеются отдельные периоды онтогенеза, когда оно наиболее чувствительно к какому-либо фактору среды (температуре, влаге, солнечной радиации и пр.).

*Закон фотопериодической реакции (или физиологических часов)* гласит, что растения реагируют на продолжительность дня и ночи, ускоряя или замедляя развитие при изменении длины дня.

*Закон плодосмена* заключается в чередовании культур в пространстве и времени (севооборот), что позволяет при прочих равных условиях получать более высокие урожаи, чем при повторных посевах одной и той же культуры на одном месте (монокультура).

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ**

Регулярно наблюдать за погодой в России стали в XVII в. при царе Алексее Михайловиче, который вменил в обязанность караульным на Кремлевской стене ежедневно записывать сведения о погоде. По указу Петра I в 1722 г. были организованы метеорологические наблюдения в Петербурге.

Первая в мире сеть метеорологических станций была организована в Сибири около 300 лет назад (в 1733 г.) участниками Великой северной экспедиции. Она охватывала территорию от Екатеринбурга до Якутска.

Большой вклад в развитие метеорологии внес М.В. Ломоносов. Он первый (в 1759 г.) указал на необходимость организации широкой сети метеорологических станций в различных частях света, а также на важность предсказания погоды для сельского хозяйства. Кроме того, он считал необходимым изучение верхних слоев атмосферы и для этих целей сконструировал оригинальную «машину» для подъема самопишущих термометров в верхние слои воздуха.

Одним из крупных мероприятий по развитию метеорологии была организация в 1849 г. Главной физической (ныне геофизической) обсерватории. Она явилась первым в мире государственным научным учреждением, руководившим метеорологическими наблюдениями.

Развитие метеорологии предопределило возникновение сельскохозяйственной метеорологии.

Крупнейшие русские ученые-агрономы А.Т. Болотов (1738–1833), И.М. Комов (1750–1792) вели систематические наблюдения за состоянием культурных растений и условиями погоды, изучали климатические условия страны. Опубликованные Болотовым издания «Нечто о погодах», «О засухах», «О действии мороза на огородные растения и о средствах к сохранению их от оного» не потеряли актуальности и в наше время.

Родиной агрометеорологии явилась Россия. Основателями агрометеорологии как науки были ученые Александр Иванович Воейков (1842–1916) и Петр Иванович Броунов (1852–1927).

А.И. Воейков впервые доказал возможность и необходимость применения знаний о климате в сельском хозяйстве. В своей книге «Климаты земного шара, в особенности России» (1884) он подробно описал взаимосвязь между климатом и растительностью, оценил климатические ресурсы России для сельскохозяйственного производства.

А.И. Воейков сделал важный вывод о значении снежного покрова как климатообразующего фактора, целесообразности проведения снегозадержания как агротехнического приема для улучшения условий влагообеспеченности и перезимовки озимых культур.

В 1885 г. А.И. Воейковым были организованы первые в России 12 агрометеорологических станций и разработана программа, в которой были заложены основополагающие принципы полевых наблюдений, не утративших своего значения и в наши дни. Он также установил ряд важнейших положений о влиянии метеорологических факторов на развитие растений, указав, что «в каждой фазе своего развития растение требует известное количество солнечной теплоты, и недочет ее тотчас же отражается на ходе дальнейших фаз».

П.И. Броунов сформулировал принципиальные основы методики агрометеорологических наблюдений. Ему принадлежит открытие закона о критических периодах в развитии растений, им выявлены критерии засушливости и вероятности наступления засушливых декад в европейской части России, выделены климатические и сельскохозяйственные районы России.

В 1897 г. по инициативе и при активном участии П.И. Броунова при Департаменте земледелия России было организовано Метеорологическое бюро — первое в стране и мире научное агрометеорологическое учреждение. Его руководителем был назначен П.И. Броунов.

Первые итоги агрометеорологических исследований были обобщены в 1912 г. в монографии П.И. Броунова «Полевые культуры и погода».

Немалая роль в развитии агрометеорологии и в организации агрометеорологических станций принадлежит А.В. Клоссовскому (1846–1917).

В годы Первой мировой и Гражданской войн агрометеорологическая сеть России, созданная усилиями А.И. Воейкова, А.В. Клоссовского и П.И. Броунова, сократилась на две трети. Новый этап в развитии агрометеорологии начался с 29 апреля 1921 г., когда было подписано постановление Совета Труда и Оборона РСФСР, предусматривающее создание агрометеорологической службы (Метеорологическая часть Наркомзема РСФСР) в целях организации планомерного наблюдения за состоянием посевных площадей, своевременного получения сведений об условиях и ходе произрастания хлебов и о размерах ожидаемого урожая. Так впервые в истории возникла сельскохозяйственная метеорологическая служба в государственном масштабе, называемая в первое время Служба урожая — Метеорологическая часть Наркомзема РСФСР. К концу 1921 г. агрометеорологическая информация поступала в Главмет почти со 100 станций. По этим данным весной 1922 г. был составлен и опубликован «Сельскохозяйственный бюллетень» № 1, ставший прообразом современных агрометеорологических бюллетеней.

В 1932 г. в Ленинграде на базе созданного П.И. Броуновым отдела был организован Агروهидрометеорологический институт (АГМИ) и несколько позднее — Институт засухи и суховеев в Саратове. В этих институтах были развернуты агрометеорологические исследования: разрабатывалась теория агрометеорологических прогнозов, была составлена первая карта агроклиматического районирования СССР, опубликован Мировой агроклиматический справочник. Большая заслуга в этом принадлежит Г.Т. Селянину, С.И. Небольсину, П.И. Колоскову.

Г.Т. Селянин, в частности, разработал и обосновал применение ряда агрометеорологических показателей, таких как сумма активных температур воздуха (выше 10 °С), гидротермический коэффициент, средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха зимой, и др., нашедших самое широкое использование в работах агроклиматологов. Гидротермический коэффициент (ГТК) вошел в научную литературу под его именем.

В 1936 г. было опубликовано первое в стране учебное пособие «Сельскохозяйственная метеорология», написанное сотрудниками Института засухи и суховеев под руководством Р.Э. Давида, не потерявшее своего научного значения и в современной сельскохозяйственной метеорологии.

В 1950-е гг. организуются региональные (зональные) научно-исследовательские гидрометеорологические институты, в которых были созданы отделы агрометеорологических исследований.

В 1960-е гг. в Гидрометцентре СССР, в региональных гидрометеорологических институтах разработаны и внедрены в оперативную практику методы агрометеорологических прогнозов урожая ос-

новых сельскохозяйственных культур, прогнозов перезимовки озимых культур (Е.С. Уланова, В.А. Моисейчик, Ю.И. Чирков, А.А. Шигелев и др.).

Большое практическое значение имели работы М.С. Кулика и А.П. Федосеева по агрометеорологическому обоснованию применения минеральных удобрений и дифференцированной агротехники в сельском хозяйстве.

Трудами И.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давитая, А.М. Алпатьева, С.А. Сапожниковой и др. были заложены основы микроклиматологии, районирования отдельных культур, влагооборота культурных растений, засух, заморозков. В 1972 г. опубликован уникальный труд «Агроклиматический атлас мира» (под ред. И.А. Гольцберг).

Большой вклад в агроклиматологию 1960–1980-х гг. внесли труды Д.И. Шашко, А.М. Шульгина, С.И. Вериги, Л.А. Разумовой, А.Р. Константинова и др.

В 1977 г. в г. Обнинске был организован Всесоюзный (ныне Всероссийский) научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ). В настоящее время ВНИИСХМ координирует все научно-исследовательские работы по агрометеорологии, ведет исследования в системе почва — растение — атмосфера (И.Г. Грингоф, О.Д. Сиротенко, А.Н. Полевой, А.Д. Клещенко, А.Д. Пасечнюк и др.).

В институте получили широкое развитие основные научные направления сельскохозяйственной метеорологии, такие как:

- разработка теоретических основ оценки влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование продуктивности сельскохозяйственных культур;
- развитие и усовершенствование системы агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства, включающей мониторинг состояния посевов, прогнозы урожайности и валового сбора урожая основных сельскохозяйственных культур и агрометеорологическое обоснование технологии возделывания культур;
- исследование влияния изменений климата на продуктивность агроэкосистем с целью выработки рекомендации по обеспечению продовольственной безопасности и устойчивого развития аграрного сектора экономики России;
- создание компьютерных технологий сбора, обработки и хранения агрометеорологической информации, разработка методов и технологий обработки и интерпретации спутниковой информации применительно к задачам агрометеорологии и сельского хозяйства и др.

Агрометеорологические исследования опираются на новейшие технические средства, новые приборы с использованием камер

искусственного климата, авиации, спутниковой информации, парка ЭВМ.

Российская Федерация является членом Всемирной метеорологической организации (ВМО), учрежденной при Организации Объединенных Наций в 1950 г. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) принимает активное участие в работе ВМО, в том числе в деятельности Всемирной службы погоды (ВСП) и Комиссии по сельскохозяйственной метеорологии (КСХМ). Российские агрометеорологи вносят значительный вклад в развитие агрометеорологии, занимая в КСХМ ВМО позиции лидеров по ряду направлений в этой науке.

Большие работы в области агрометеорологии и агроклиматологии проводятся за рубежом. Так, из исследований, связанных с вопросами агроклиматического районирования территорий, заслуживают внимания работы Б.Э. Ливингстона, А. Саундерса, Т.А. Блайра, Г. Пирсона, К.В. Торнтвейта и др.

Э. Хигби разработал комплексную оценку ресурсов климата и географическую характеристику засух для сельского хозяйства североамериканского континента.

Вопросам влияния факторов погоды и климата на продуктивность земледелия посвящены публикации И.Р. Таннехилла, А.Дж. Генри, Дж.К. Хойта, А.Дж. Коннора и Дж.В. Хопкинса.

В работах М. Монфи, В. Байера, Т. Сэки и др. рассматриваются вопросы моделирования в агрометеорологии и агроклиматологии.

Среди зарубежных исследований по проблеме влияния климата и климатической изменчивости на земледелие следует выделить работы Х. Аракавы, Р.Е. Йенсена, Дж. Макквига, К. Сакамото, Н. Парри и др.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Каковы предмет и задачи агрометеорологии?
2. Какую агрометеорологическую информацию используют при решении вопросов сельскохозяйственного производства на различных уровнях?
3. Перечислите методы, применяемые в агрометеорологических исследованиях. В чем их сущность?
4. На каких биологических законах земледелия и растениеводства базируются методы агрометеорологических исследований?

## ГЛАВА 1

# ЗЕМНАЯ АТМОСФЕРА КАК СРЕДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

### 1.1. СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ И ПОЧВЕННОГО ВОЗДУХА

Газовую оболочку земного шара, которая вращается вместе с ним, называют *атмосферой*. Она является средой обитания всех земных организмов (за исключением анаэробных бактерий). Сложившаяся в результате эволюции Земли атмосфера под влиянием различных процессов, в том числе и вследствие фотосинтетической деятельности растений, миллионы лет назад достигла в основном такого же состава, как в настоящее время. Между атмосферой и биосферой установилось природно обусловленное динамическое равновесие. Поэтому человек и объекты сельскохозяйственного производства приспособлены к данному составу воздуха, которым они дышат и который необходим для их существования.

Смесь газов, составляющих атмосферу, называют *воздухом*, который состоит из азота ( $N_2$ ), кислорода ( $O_2$ ), аргона (Ar), диоксида углерода ( $CO_2$ ) и водяного пара ( $H_2O$ ). Остальные газы содержатся в атмосфере в ничтожных количествах, и их можно не учитывать при изучении физических свойств воздуха применительно к задачам агрометеорологии.

Состав сухого чистого воздуха нижних слоев атмосферы (табл. 1.1) постоянен для всей планеты. Это обусловлено непрерывным перемешиванием воздуха в вертикальном и горизонтальном направлениях. Только количество диоксида углерода, озона и некоторых других газов несколько изменяется во времени и пространстве.

Кроме того, в атмосфере всегда присутствуют взвешенные твердые и жидкие частицы как природного происхождения (частицы почвенной пыли, морской соли, споры растений, капельки воды и др.), так и попавшие в атмосферу в результате хозяйственной деятельности человека (производственная пыль, частицы дыма и удобрений и т.п.). Эти частицы называют *аэрозолем*.

В природе воздух содержит воду в газообразном, жидком и твердом состояниях. Водяной пар поступает в атмосферу в результате испарения воды с земной поверхности и транспирации растений и распространяется в атмосфере вследствие перемешивания воздуха.

Таблица 1.1

## Состав сухого воздуха

Газ	Молярная масса, г/моль	Содержание, % объема	Плотность	
			Абсолютная, г/м <sup>3</sup>	По отношению к сухому воздуху
Азот	28,106	78,084	1250	0,967
Кислород	32,000	20,946	1429	1,105
Аргон	39,944	0,934	1786	1,379
Диоксид углерода	44,010	0,033	1977	1,529
Неон	20,183	$18,18 \cdot 10^{-4}$	900	0,695
Гелий	4,003	$5,24 \cdot 10^{-4}$	178	0,138
Криптон	83,700	$1,14 \cdot 10^{-4}$	3736	2,868
Водород	2,016	$0,5 \cdot 10^{-4}$	90	0,070
Ксенон	131,300	$0,087 \cdot 10^{-4}$	5891	4,524
Озон	48,000	$(0...0,07) \cdot 10^{-4}$	2140	1,624
Сухой воздух	28,966	100	1293	1,000

Влагосодержание атмосферы зависит от удаленности источников воды (океанов, морей, крупных внутренних водоемов), рельефа местности, особенностей атмосферной циркуляции, температуры воздуха, времени суток. Процентное содержание водяного пара в воздухе у земной поверхности может колебаться почти от нуля до 4% объема.

Состав почвенного воздуха качественно практически не отличается от состава надземного воздуха. Исключение составляют только болотистые почвы, в которых могут содержаться метан и сероводород, т.е. газы, отсутствующие в атмосфере. Однако газы, составляющие почвенный воздух, входят в него в несколько иных соотношениях, чем в надземном воздухе. Жизнедеятельность микроорганизмов и корней, а также процессы гниения и разложения органических веществ уменьшают запасы кислорода в почвенном воздухе и увеличивают количество углекислоты. Уменьшение количества азота происходит в результате связывания его азотфиксирующими микроорганизмами и клубеньковыми бактериями, а увеличение — вследствие распада белков и денитрификации азотсодержащих веществ под действием микроорганизмов.

Содержание  $N_2$ ,  $O_2$  и  $CO_2$  в почвенном воздухе непостоянно и зависит от типа почвы, ее свойств, времени года, погодных условий, внесения органических удобрений и других факторов.

Особенно большое влияние на состав почвенного воздуха оказывают влага и температура почвы. С увеличением влажности уменьшается воздухоемкость, нарушается система воздухоносных пор, т.е.

ухудшаются условия газообмена. Лучшее соотношение воды и воздуха в почве для большинства сельскохозяйственных культур — когда 60% пор заполнено водой и 40% воздухом. Кроме того, от содержания влаги в почве и температуры зависят интенсивность биологических и биохимических процессов, а следовательно, потребление кислорода и продуцирование диоксида углерода. В результате содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе может достигать 1,0...1,2% (в заболоченных почвах до 6%),  $\text{O}_2$  — опускаться ниже 20%, а содержание  $\text{N}_2$  может колебаться от 78 до 87%.

Между атмосферой и почвой существует непрерывный воздухообмен — *аэрация почвы*, которая обусловлена в основном диффузией газов, происходящей при изменении температуры и влажности воздуха и почвы, а также действием ветра и колебаниями атмосферного давления. Диффузный перенос газов в почве происходит частично в газовой, а частично в жидкой фазе, через водные пленки, что обеспечивает снабжение кислородом гидратированных живых тканей корней растений и удаление из них диоксида углерода. Интенсивность газообмена зависит и от структуры почвы. При комковатой структуре аэрация происходит интенсивнее, чем при пылеватой. Скорость перемещения газов по почвенному профилю и интенсивность аэрации обуславливают изменение содержания основных компонентов почвенного воздуха  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  как в пространстве, так и во времени. Все агротехнические приемы, направленные на рыхление почвы, способствуют ее аэрации, что улучшает условия деятельности корневой системы растений и почвенных бактерий.

## 1.2. ЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГАЗОВ ВОЗДУХА ДЛЯ БИОСФЕРЫ

Из всех газов атмосферы наибольшее значение для биосферы, и в том числе для сельского хозяйства, имеют азот, кислород, диоксид углерода и водяной пар.

*Азот* — газ, преобладающий в атмосфере. Здесь он играет роль разбавителя кислорода, регулируя темп окисления и, следовательно, скорость и напряженность биологических процессов.

Несмотря на свое название (от греч. *ázos* — безжизненный), азот принадлежит к числу важнейших биогенных элементов; он входит в состав белков и нуклеиновых кислот. Азот — один из главных элементов почвенного питания растений. Растение усваивает азот из почвы в виде как неорганических, так и некоторых органических соединений.

Свободный азот не усваивается растениями, но связывается некоторыми почвенными и клубеньковыми бактериями, что обогащает почву соединениями азота, легкоусвояемыми растениями. К числу растений, связывающих молекулярный азот при помощи клубенько-



вых бактерий, поселяющихся на их корнях, относятся бобовые культуры (горох, фасоль, клевер, люцерна и др.). За один вегетационный период они накапливают от 40 до 300 кг азота на 1 га. Кроме того, в почву в течение года вместе с осадками поступает около 5 кг азота на 1 га, что удовлетворяет потребности растений примерно на 1/10.

Основным источником азота для растений служит почва. При разложении растительных остатков органический азот переходит в минеральный: сначала в аммиак, а затем в азотистую и азотную кислоту, которая в виде солей (селитры) является почти единственным продуктом азотного питания всех растений.

Для улучшения почвенного питания растений минеральные и органические соединения азота вносят в почву в виде удобрений.

При недостатке азота растения остаются низкорослыми, имеют мелкоклеточные ткани и грубые клеточные стенки.

*Кислород* необходим для дыхания, разложения органического вещества, гниения и горения. При взаимодействии органических веществ с кислородом (окисление) в клетках выделяется энергия, обеспечивающая жизнедеятельность живых организмов. При недостатке в почве  $O_2$  создается низкий окислительно-восстановительный потенциал, развиваются анаэробные процессы с образованием токсичных для растений соединений, уменьшается содержание доступных питательных веществ, ухудшаются физические свойства почвы, что в совокупности снижает почвенное плодородие. Поэтому обогащение почвы кислородом, которое достигается при улучшении аэрации почвы, способствует деятельности почвенных бактерий, росту корневой системы и, следовательно, улучшению почвенного питания растений.

Особое значение в атмосфере имеет *озон*, т.е. трехатомный кислород —  $O_3$ . Образуется озон в результате фотохимических реакций. Общая масса озона в атмосфере составляет около  $3,2 \cdot 10^9$  т.

Основная масса озона (около 90%) сосредоточена в виде слоя — *озоносферы* — на высоте от 10 до 50 км (в зависимости от широты и времени года) с максимумом концентрации на высотах 20...25 км. Однако если бы весь озон, содержащийся в атмосфере, привести к нормальному давлению (1013 гПа, или 760 мм рт. ст.) при температуре 0 °С, то получился бы слой толщиной в среднем всего 3 мм. Вместе с тем даже это малое количество озона имеет очень большое значение для жизни на Земле. Озоновый слой — защитный. Он поглощает так называемую жесткую ультрафиолетовую радиацию с длинами волн 0,22...0,29 мкм (с максимумом поглощения при  $\lambda = 0,255$  мкм). Благодаря этому на высотах 40...50 км температура воздуха возрастает до значений, близких к нулю.

Жесткие ультрафиолетовые лучи обладают высокой биологической активностью: они убивают бактерии многих видов, губительны

для живых организмов и растений. Считают, что жизнь на Земле смогла развиваться только тогда, когда возник достаточно мощный озоновый «щит», предохраняющий ее от губительного действия ультрафиолетовой радиации Солнца. Нарушение существующего равновесия в озоносфере влияет на распределение потоков ультрафиолетовой радиации на различных высотах в атмосфере. Это в свою очередь может привести к изменению температуры и общей циркуляции атмосферы, оказать действие на тепловой баланс всей атмосферы, т.е. повлечь за собой определенные изменения погоды и климата.

В середине 1985 г. появились первые сообщения о снижении суммарного озона в Антарктиде. Содержание озона уменьшилось почти на 40% его минимального содержания в околополюсной зоне и примерно на 20% его содержания в зоне 50...60° ю.ш. Такое уменьшение озона в атмосфере и послужило появлению так называемых *озоновых дыр*.

Величайшим достижением технического прогресса было открытие аэрозольных смесей — *фреонов*. Они нашли широкое применение в холодильной промышленности, в изготовлении медицинских лекарств, производстве косметики и разных растворителей. Фреоны легче воздуха и безобидны в приземных слоях воздуха, но в верхних слоях под действием ультрафиолета способны распадаться и выделять новый элемент — хлор, который очень активно разрушает озон. Частично озоновый слой разрушается и от промышленного загрязнения стратосферы аэрозолями и газами, поглощающими солнечное излучение, в результате чего образуются интенсивные восходящие движения воздушных масс.

Для спасения озонового слоя планеты под эгидой ВМО разрабатываются проекты по выработке промышленного озона и доставке его в стратосферу и замене фреона на другие составляющие.

Кроме того, озон задерживает около 20% инфракрасного излучения Земли, способствуя тем самым повышению утепляющего действия воздушной оболочки — атмосферы.

*Диоксид углерода* — тяжелый газ, скапливающийся в нижних слоях атмосферы у поверхности Земли. Его значение в физиологических процессах растений огромно. Он является источником воздушного питания растений: зеленые растения при помощи световой энергии создают в процессе фотосинтеза из углекислоты и воды органическое вещество.

Диоксид углерода поступает в растение и через корни. Поэтому и органические удобрения, и известкование почв, и другие приемы усиления микробиологических процессов в почве способствуют образованию доступной для растений двуокиси углерода. По некоторым данным от 40 до 70% всего  $\text{CO}_2$ , пошедшего на создание урожая, растения получают из почвы.

Диоксид углерода имеет также важное значение для теплового баланса Земли, уменьшая ее охлаждение. Он способен задерживать земное излучение (примерно 10%) и тем самым повышать температуру у земной поверхности.

*Водяной пар* — важное звено круговорота воды в природе. Он обуславливает образование облаков и выпадение осадков, влияет на интенсивность испарения растительного покрова, участвует в создании оранжерейного эффекта атмосферы.

Водяной пар влияет на прозрачность атмосферы и ее радиационный режим и поглощает различные загрязняющие вещества. Таким образом, от влагосодержания атмосферы зависят климатические условия и водный режим Земли.

### **1.3. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМ**

Загрязнение атмосферы имеет естественное и искусственное происхождение.

Среди естественных факторов выделяют:

- внеземное загрязнение воздуха космической пылью;
- земное загрязнение атмосферы при извержении вулканов, выветривании горных пород, пыльных бурях, лесных пожарах, возникающих от ударов молнии, выносе морских солей.

Искусственное загрязнение обусловлено активной деятельностью человека. Высокая концентрация промышленного производства в отдельных районах земного шара и быстрое увеличение объемов сжигаемого топлива привели к выбросу в атмосферу значительных количеств тепла, диоксида углерода, тяжелых металлов и их соединений и других загрязняющих веществ.

Загрязняющие вещества делят на три группы: газообразные, тяжелые металлы, органические вещества.

В *первую группу* входят сернистый газ, окислы азота, окись углерода, фториды, хлор, сероводород, озон, пыль. Существенное значение в общем загрязнении атмосферы этими веществами принадлежит автотранспорту. В составе выхлопных газов обнаружено около 1200 компонентов. Из них около 200 веществ можно определить количественно. Основные из них — окись углерода, окислы азота, углеводороды, сернистые соединения, сажа и др. При сжигании 1 т бензина выделяется 500...800 кг вредных веществ. По данным Росгидромета России, доля автомобильных выбросов в валовом выбросе по стране составляет около 30% (в США — 65%).

Ко *второй группе* загрязняющих веществ относится несколько десятков химических элементов. Основную опасность представляют ртуть, свинец, олово, никель, цинк, мышьяк и др. Главный источник

поступления этих элементов в атмосферу — сжигание ископаемого топлива (угля, нефти и т.п.).

*Третья группа* загрязняющих веществ — это органические вещества антропогенного происхождения (углеводы нефти, пестициды, хлорорганические соединения и др.).

В результате атмосферных и наземных ядерных и термоядерных взрывов и аварий реакторов на атомных электростанциях в атмосферу поступает огромное количество различных *радиоактивных веществ*, которые переносятся воздушными потоками и сохраняются в атмосфере на протяжении десятилетий, причем пока еще не найдены способы искусственного удаления радиоактивных продуктов из атмосферы.

Хотя объем загрязнений относительно объема атмосферы невелик, но в последнее время действие их становится уже заметным, так как загрязняющие вещества постепенно накапливаются в атмосфере, а даже малые количества некоторых из них (окись углерода, пары ртути и т.п.) являются опасными для человека.

В конце XX столетия на долю естественных факторов приходилось 75% общего загрязнения атмосферы, а 25% — результат деятельности человека.

Загрязняющие вещества распределяются в пространстве неравномерно, концентрация их в местах выбросов нередко превышает предельно допустимую (ПДК). Однако и на значительном удалении от источников загрязнения они не могут быть рассеяны до такой степени, чтобы стать безвредными для населения и природы. Загрязнение атмосферы в ряде городов мира приводит к возникновению *смога*. Он бывает двух типов:

- дымный туман — смесь тумана и продуктов неполного сгорания или отходов химического производства, в той или иной степени вреден для здоровья людей;
- едкие газы, пары и аэрозоли повышенной концентрации без тумана. Особое значение имеют в этом случае выбросы выхлопных газов автомобилей и последующие фотохимические реакции. Интенсивный и длительный смог может стать причиной повышения смертности, особенно среди людей, страдающих заболеваниями сердца и дыхательных путей.

Воздействие загрязняющих веществ на растения еще мало изучено, хотя многие отрицательные влияния их не вызывают сомнений. Так, сернистый ангидрид повреждает зеленые части растений, поэтому подавляется фотосинтез. При больших концентрациях сернистого ангидрида в воздухе довольно быстро развивается некроз листьев, задерживается или полностью прекращается рост растений. Соединения серы способны накапливаться в тканях растений и нарушать ферментативную деятельность.

Прямое поражение растений окислами азота обычно наблюдается при их больших концентрациях в воздухе, например, в районах с развитой промышленностью. Симптомы поражения соединениями азота проявляются в виде темных и коричневых некротических пятен на листьях, в межжилковом некрозе, нарушении фотосинтеза, усилении поражаемости болезнями и вредителями, уменьшении устойчивости к стрессам.

При интоксикации растений фтором и его соединениями происходит снижение содержания хлорофилла и интенсивности фотосинтеза, биосинтеза белка, усиление дыхания, ингибирование (подавление) активности фитогормонов, нарушение минерального питания из-за связывания кальция, магния и марганца.

Одновременно с поражением растений происходит, конечно, загрязнение вредными веществами и почвы. В результате наблюдаются диспергирование почвенной массы, изменение физико-химических свойств почвы и, как следствие, снижение плодородия.

По данным ВМО, в США ущерб, наносимый сельскому хозяйству загрязняющими веществами, ежегодно составляет около 85 млн долл.

В связи с этим важными задачами научных исследований ВМО являются изучение и прогнозирование интенсивности и направленности возможных изменений в природной среде в целях разработки мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов, предупреждению и ограничению отрицательных последствий, если они возникают. Источником информации для этих целей служит глобальная система *мониторинга* (контроля) окружающей среды, задача которой — постоянное наблюдение за элементами природной среды по единой программе на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Все экономически развитые государства мира участвуют в борьбе с загрязнением атмосферного воздуха. Единственным средством борьбы с загрязнением окружающей среды и его негативными последствиями является резкое снижение, а затем и полная ликвидация выбросов токсических отходов в окружающую среду.

В России принят Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха», разработаны нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ, ведутся большие работы по предотвращению загрязнения и его уменьшению. Снижению загрязнения способствовали строительство пылегазоочистных установок, перевод ТЭЦ на газовое топливо, централизация мелких котельных, вывод промышленных предприятий за черту города и т.п.

Одно из эффективных мероприятий по охране атмосферного бассейна и борьбе с загрязнением воздуха — озеленение крупных промышленных городов. Известно, что 1 га древесных насаждений за год очищает от диоксида углерода и вредных примесей 18 млн м<sup>3</sup>

воздуха и отфильтровывает до 70 т пыли. Одно дерево с площадью кроны 25 м<sup>2</sup> в сутки выделяет столько кислорода, сколько необходимо для дыхания одного взрослого человека, а 1 га насаждений за 1 ч — сколько за это время потребляют около 200 человек.

#### 1.4. СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

До начала XX в. метеорологи считали всю атмосферу более или менее однородной. В частности, они были убеждены в том, что температура воздуха в атмосфере равномерно убывает с высотой. Лишь в начале XX в. было установлено, что в вертикальном направлении атмосферу можно представить состоящей из нескольких концентрических слоев, отличающихся один от другого по температурным и иным условиям.

В вертикальном направлении атмосферу подразделяют на пять основных слоев: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу (рис. 1.1).

Между ними находятся переходные слои, называемые паузами: тропопауза, стратопауза и др.

*Тропосфера* — нижний слой атмосферы, простирающийся от земной поверхности до высоты 8...10 км в полярных областях и до 15...18 км в зоне экватора. Температура воздуха в тропосфере уменьшается в среднем на 0,5...0,6 °С на каждые 100 м, плотность воздуха — от 1,2 до 0,4 кг/м<sup>3</sup>.

В этом слое идет непрерывное интенсивное перемешивание воздуха как по горизонтали, так и по вертикали. В тропосфере сконцентрировано 75% всей массы воздуха, основное количество водяного пара и мельчайших частиц примесей, в результате чего здесь образуются облака, дающие осадки, возникают грозы и другие атмосферные явления. Поэтому тропосферу часто называют «кухней» погоды.

Самый нижний слой тропосферы — приземный, высота которого составляет несколько десятков метров, имеет особенно большое значение для сельского хозяйства. В этом слое находятся посевы, насаждения и пастбища. Поэтому для правильного решения многих практических задач сельскохозяйственного производства необходимо знать атмосферные процессы, происходящие именно в приземном слое тропосферы.

*Стратосфера* располагается над тропосферой до высоты 50...55 км. Для этого слоя характерны слабые воздушные потоки, малое количество облаков и постоянство температуры (–56...–60 °С) до высоты примерно 25 км. Далее температура начинает повышаться и на уровне стратопаузы достигает положительных значений. В стратосфере содержится менее 20% воздуха атмосферы, а его плотность к стратопаузе уменьшается примерно до  $8 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup>.

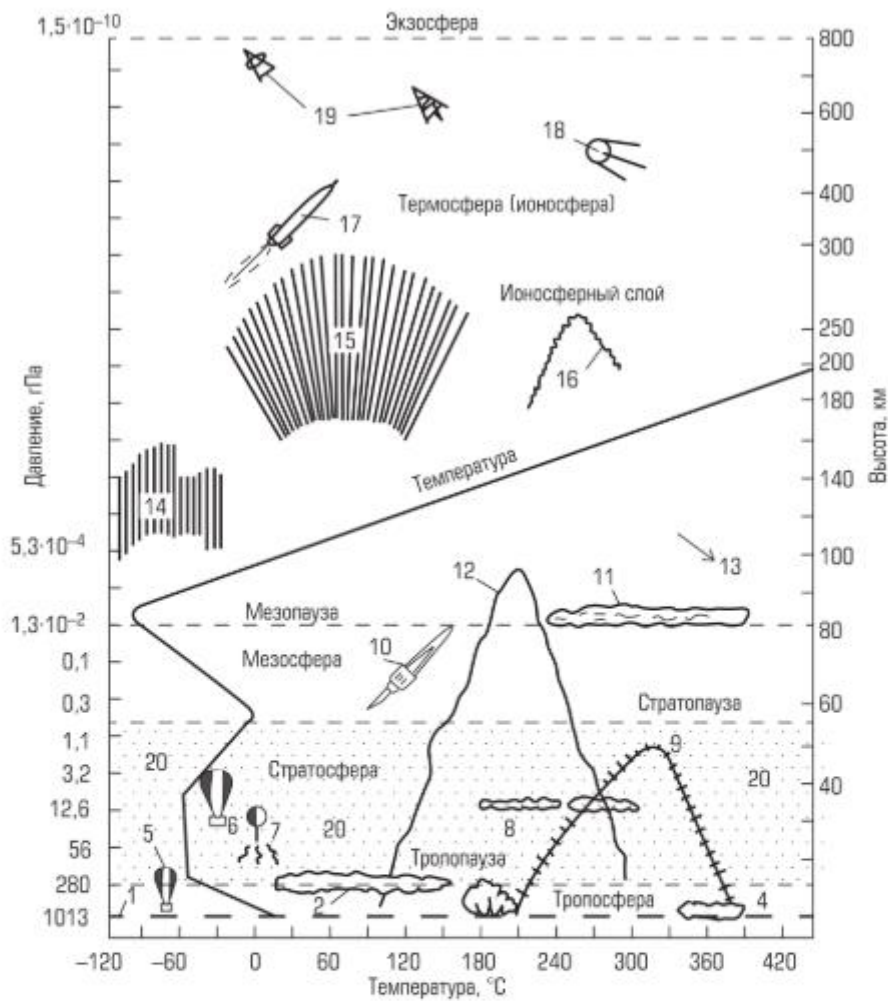


Рис. 1.1. Строение атмосферы:

- 1 — уровень моря; 2 — перистые облака; 3 — кучевые облака; 4 — слоистые облака; 5 — свободный аэростат; 6 — стратостат; 7 — радиозонд; 8 — перламутровые облака; 9 — отражение звуковых волн; 10 — метеорологическая ракета; 11 — серебристые облака; 12 — слой отражения средних радиоволн; 13 — метеоры; 14 и 15 — полярные сияния; 16 — отражение коротких радиоволн; 17 — геофизическая ракета; 18 — искусственные спутники Земли; 19 — космические корабли; 20 — озоновый слой

В стратосфере солнечные лучи интенсивно взаимодействуют с молекулами кислорода. В результате часть последних распадается и образуется озон. Область повышенной концентрации озона образует озоносферу.

Водяного пара в стратосфере ничтожно мало. Однако в полярных широтах на высотах 20...25 км наблюдают иногда очень тонкие, так называемые перламутровые, облака. Днем они не видны, а ночью кажутся светящимися, так как освещаются Солнцем, находящимся под горизонтом.

*Мезосфера* — слой, в котором температура с высотой вновь начинает понижаться, достигая на верхней границе — мезопаузе (80...95 км)  $-85...-90$  °С.

Воздуха здесь содержится всего около 5% от всей массы атмосферы, а плотность его на уровне мезопаузы составляет около  $2 \cdot 10^{-5}$  кг/м<sup>3</sup>. На верхней границе мезосферы наблюдаются еще особого рода облака, также видимые только в ночное время, — серебристые.

В *термосфере*, которая расположена до высоты примерно 450 км, температура опять начинает повышаться. На высоте 200...250 км в годы активного Солнца она достигает 1600 °С. Следует отметить, что эта температура характеризует лишь кинетическую энергию движения молекул газов. Космические корабли и искусственные спутники Земли, находящиеся в термосфере, не испытывают воздействия столь высокой температуры вследствие очень большой разреженности воздуха (на высоте 500 км плотность воздуха составляет около  $2 \cdot 10^{-12}$  кг/м<sup>3</sup>).

Молекулы воздуха в термосфере электрически заряжены, и атмосфера становится электропроводной. Ионизация воздуха происходит под воздействием ультрафиолетовой и корпускулярной радиации Солнца, поэтому термосферу также называют *ионосферой*. В термосфере происходят полярные сияния, сгорают метеориты.

*Экзосфера* — самый верхний слой атмосферы. Плотность воздуха в ней настолько мала, что понятие температуры здесь теряет свой физический смысл. По теоретическим расчетам температура в этом слое превышает 9000 °С. Слой экзосферы распространяется до высоты 2000...3000 км и постепенно переходит в земную корону и далее в космос.

## 1.5. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

На сети метеорологических станций и в обсерваториях с помощью приборов и визуально непрерывно наблюдают за метеорологическими элементами и атмосферными явлениями.

Метеорологические наблюдения в нижних слоях атмосферы проводят с помощью приборов, установленных на высоких башнях (Эйфелева башня в Париже, 300-метровая метеорологическая высотная мачта Института прикладной геофизики в г. Обнинске, 533-метровая Останкинская телевизионная башня в Москве и др.).



Для изучения более высоких слоев атмосферы организованы высокогорные обсерватории и станции. Однако число их недостаточно, и расположены они на высотах, не превышающих 4...5 км, тогда как уже давно появилась необходимость исследования атмосферы до более значительных высот. Для исследования высоких слоев атмосферы еще в XVIII в. стали использовать *азростаты*.

В конце XIX в. для исследования атмосферы начали применять *шары-зонды*. Такие шары поднимались до высоты 15...30 км. Однако этот метод не был удобен для оперативной работы, так как воздушный поток уносил шары на большие расстояния и они часто терялись.

Для определения направления и скорости ветра на различных высотах используют *шары-пилоты*.

После появления коротковолнового радиопередатчика был разработан новый метод исследования высоких слоев атмосферы с помощью *радиозонда*, изобретенного в 1930 г. русским ученым П.А. Молчановым. С помощью радиозондирования получают надежные сведения о распределении давления, температуры, влажности и ветра с высотой, а также о физических процессах, происходящих на высотах до 30...40 км.

Шары-пилоты и радиозонды запускаются 2 раза в сутки из сотен пунктов по всему миру.

Широкое распространение получило *самолетное и вертолетное зондирование атмосферы* с помощью метеографов, а также специальной аппаратуры, предназначенной для наблюдений за облаками, турбулентностью, солнечной, земной и атмосферной радиацией и т.д.

Более высокие слои атмосферы исследуют с помощью *метеорологических и геофизических ракет*.

Возможности изучения высоких слоев атмосферы и граничащего с ними космического пространства значительно расширились с началом запусков искусственных спутников Земли (ИСЗ). Первый ИСЗ был запущен в СССР 4 октября 1957 г. на высоту около 990 км. Для этой цели используют также космические корабли и орбитальные станции.

Космические системы наблюдения Земли: гидрометеорологическая «Метеор», океанографическая «Океан» и природно-ресурсная «Ресурс», орбитальная станция «Мир», американские ИСЗ «Нимбус», «Тирос», «АТС» и др. непрерывно регистрируют облачность, тепловое излучение атмосферы, Земли и другие метеоэлементы (рис. 1.2).

Наблюдения из космоса позволяют проводить исследования динамических процессов, происходящих в атмосфере, а также изучать процессы и явления, связанные с возникновением циклонов (тайфунов), мощных полярных сияний, перламутровых и серебристых облаков и т.д. Дальнейшее развитие исследований атмосферы Земли из космоса, интеграция России в международные информационные сети,

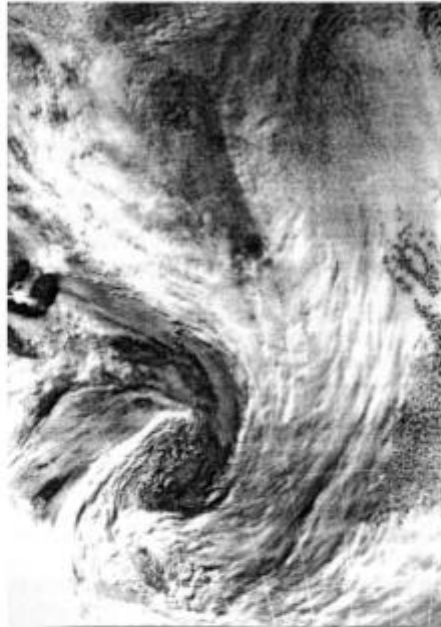


Рис. 1.2. Фотография облаков со спутника «Метеор»

в том числе в Интернет, несомненно, дадут много нового как для развития науки, так и для решения различных народнохозяйственных задач.

Для сельского хозяйства наблюдения со спутников дают информацию о запасе воды в снежном покрове, температуре подстилающей поверхности, равномерности распределения растительного покрова и его фитомассе на пастбищах, степени повреждения посевов, ожидаемом урожае культур и др.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите составляющие атмосферного и почвенного воздуха.
2. Что такое аэрозоли?
3. Каково значение основных газов воздуха для биосферы?
4. На какие сферы разделяется атмосфера по вертикали и чем они характеризуются?

## ГЛАВА 2

### ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ

---

#### 2.1. СОЛНЦЕ — ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Главный источник энергии почти для всех процессов, развивающихся в атмосфере и на поверхности Земли, — Солнце. Оно непрерывно излучает в окружающее его мировое пространство огромное количество энергии, в основном в форме лучистой энергии, из которой на Землю поступает только одна двухмиллиардная часть, оцениваемая, однако, примерно в  $3,3 \cdot 10^8$  Вт на  $1 \text{ км}^2$ . В сравнении с этой энергией мощность всех остальных источников, как внешних по отношению к Земле (излучение звезд, космические лучи и др.), так и внутренних (внутренняя теплота Земли, радиоактивные излучения и др.), в энергетическом отношении пренебрежимо мала.

Солнечная энергия является основным условием существования биосферы и одним из главных климатообразующих факторов. За счет энергии Солнца воздушные массы в атмосфере непрерывно перемещаются, что обеспечивает постоянство газового состава атмосферы. Под действием солнечной радиации испаряется огромное количество воды с поверхности водоемов, почвы, растений. Водяной пар, переносимый ветром с океанов и морей на материки, — основной источник осадков для суши.

Солнечная энергия — неперенное условие существования зеленых растений, превращающих в процессе фотосинтеза солнечную энергию в высокоэнергетические органические вещества.

#### 2.2. ПОТОКИ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

В *актинометрии* (раздел метеорологии, изучающий солнечное, земное и атмосферное излучение) лучистую энергию, или радиацию, принято разделять на потоки: прямая солнечная радиация, рассеянная солнечная радиация, суммарная солнечная радиация, отраженная солнечная радиация, собственное излучение Земли и встречное излучение атмосферы.

Количественно лучистая энергия характеризуется *потоком радиации*, поступающей в единицу времени на единицу поверхности. Величину, характеризующую мощность потока лучистой энергии, называют *интенсивностью радиации*. В международной системе (СИ) интенсивность потока радиации выражают в ваттах на квадратный метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ). На практике обычно

используют данные не мгновенных значений потоков за секунду, а суммы радиации за какой-либо период: декаду, месяц, вегетационный период и т.д. Суммы выражают в Дж/(м<sup>2</sup> · ч), Дж/(м<sup>2</sup> · сут.) и т.д. (1 кал/см<sup>2</sup> = 4,19 · 10<sup>4</sup> Дж/м<sup>2</sup>).

**Прямая солнечная радиация.** Радиацию, поступающую на верхнюю границу атмосферы и затем на земную поверхность непосредственно от Солнца (от солнечного диска) в виде пучка параллельных лучей, называют *прямой солнечной радиацией* —  $S$ . Прямая солнечная радиация, поступающая на верхнюю границу атмосферы, изменяется в небольших пределах, поэтому ее называют *солнечной постоянной*  $S_0$ . В соответствии с рекомендацией Международной комиссии по радиации при среднем расстоянии от Земли до Солнца  $149,5 \cdot 10^6$  км  $S_0$  составляет около 1,4 кВт/м<sup>2</sup>.

При прохождении потока прямой солнечной радиации через атмосферу происходит его ослабление, вызванное поглощением (около 15%) и рассеянием (около 25%) энергии газами, аэрозолями, облаками.

Согласно закону ослабления Бугёра прямая солнечная радиация, поступающая на поверхность Земли при отвесном (перпендикулярном) падении лучей, равна

$$S = S_0 \rho^m, \quad (2.1)$$

где  $\rho$  — интегральный коэффициент прозрачности атмосферы;  $m$  — число оптических масс атмосферы.

Ослабление солнечного потока в атмосфере зависит от высоты Солнца над горизонтом Земли и прозрачности атмосферы. Чем меньше высота его над горизонтом, тем большее число оптических масс атмосферы проходит солнечный луч. За одну оптическую массу атмосферы принимают массу, которую проходят лучи при положении Солнца в зените. Когда Солнце находится у горизонта, луч проходит в атмосфере путь, почти в 35 раз больший, чем при падении лучей под углом 90° к поверхности Земли. Число оптических масс атмосферы ( $m$ ) при различных высотах Солнца ( $h_\odot$ ) приведено далее:

$m$	1	1	1,1	1,2	1,3	1,6	2	2,9	5,6	10,4	26	35,4
$h_\odot$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	1	0

Чем больший путь в атмосфере проходят солнечные лучи, тем сильнее их поглощение и рассеяние и тем больше уменьшается их интенсивность.

Коэффициент прозрачности зависит от содержания в атмосфере водяного пара и аэрозолей: чем их больше, тем меньше коэффициент прозрачности при одинаковом числе проходимых оптических масс. В среднем для всего потока радиации в идеально чистой атмосфере

$\rho$  на уровне моря составляет около 0,9, в действительных атмосферных условиях — 0,7...0,85, зимой он несколько больше, чем летом.

Приход прямой радиации на земную поверхность зависит от угла падения солнечных лучей. Поток прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, называют *инсоляцией*:

$$S' = S \sin h_{\odot} \quad (2.2)$$

Если земная поверхность негоризонтальна, как это большей частью и бывает в природе, то приход радиации на нее зависит уже не только от высоты Солнца, но и от наклона поверхности, и от ее ориентации по отношению к странам света (от экспозиции). Разница в приходе радиации особенно заметна весной и осенью, когда Солнце над горизонтом стоит невысоко (табл. 2.1). В результате на южных склонах даже при крутизне всего 3...5° раньше сходит снег, почва прогревается и поспевает на 7...10 сут. раньше, чем на северных, что позволяет проводить здесь сев в более ранние сроки. На южных склонах увеличивается вероятность созревания теплолюбивых культур в районах с ограниченными ресурсами тепла.

Таблица 2.1

Отношение средних суточных сумм прямой радиации на северном и южном склонах разной крутизны к суммам на горизонтальной поверхности

Широта, град.	Месяц						
	03	04	05	06	07	08	09
<b>Крутизна 10°</b>							
<i>Северный склон</i>							
50	0,75	0,86	0,91	0,94	0,93	0,90	0,80
60	0,64	0,80	0,88	0,90	0,88	0,86	0,73
<i>Южный склон</i>							
50	1,22	1,11	1,04	1,01	1,02	1,07	1,14
60	1,34	1,14	1,06	1,07	1,04	1,12	1,21
<b>Крутизна 20°</b>							
<i>Северный склон</i>							
50	0,48	0,70	0,83	0,87	0,85	0,76	0,60
60	0,27	0,60	0,77	0,81	0,80	0,68	0,44
<i>Южный склон</i>							
50	1,38	1,18	1,07	1,02	1,04	1,12	1,28
60	1,65	1,29	1,12	1,04	1,07	1,2	1,42

Средние многолетние годовые суммы прямой радиации на территории России увеличиваются от 1300 МДж/м<sup>2</sup> на севере до 3300 МДж/м<sup>2</sup> на юге.

**Рассеянная солнечная радиация.** Часть солнечной радиации, которая после рассеивания атмосферой и отражения от облаков поступает на земную поверхность, называют *рассеянной солнечной радиацией* —  $D$ . Чем выше Солнце и больше загрязненность атмосферы, тем больше приход рассеянной радиации. Зависимость  $D$  от облачности сложная. Она определяется видом и количеством облаков, их вертикальной мощностью и оптическими свойствами. Поэтому в зависимости от облачности рассеянная радиация может колебаться более чем в 10 раз.

Интенсивность потока рассеянной радиации обычно меньше, чем прямой, но значение ее велико. Например, на земной поверхности светло, даже если Солнце закрыто плотными облаками. С рассеянной радиацией связаны утренние и вечерние сумерки, когда Солнце находится под горизонтом, и таким образом увеличивается продолжительность дня. Рассеянная радиация имеет и большое биологическое значение (см. разд. 2.5).

Средние многолетние годовые суммы рассеянной радиации на территории нашей страны составляют 1600...1900 МДж/м<sup>2</sup>.

**Суммарная солнечная радиация.** Прямая солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, и рассеянная солнечная радиация вместе составляют *суммарную радиацию* —  $Q$ :

$$Q = S' + D. \quad (2.3)$$

Соотношение между прямой и рассеянной радиацией в составе суммарной радиации зависит от высоты Солнца, облачности и прозрачности атмосферы, высоты поверхности над уровнем моря. С увеличением высоты Солнца доля рассеянной радиации при безоблачном небе уменьшается. Чем прозрачнее атмосфера и выше Солнце, тем меньше доля рассеянной радиации. При сплошной плотной облачности суммарная радиация полностью состоит из рассеянной радиации. Зимой вследствие отражения радиации от снежного покрова и ее вторичного рассеяния в атмосфере доля рассеянной радиации в составе суммарной заметно увеличивается.

Свет и тепло, получаемые растениями от Солнца, — результат действия суммарной солнечной радиации. Поэтому большое значение для сельского хозяйства имеют данные о суммах радиации, получаемых поверхностью за сутки, месяц, вегетационный период, год. Распределение средних многолетних годовых сумм суммарной радиации на территории России показано на рис. 2.1, а. Годовые суммы суммарной радиации на территории России, как видно из рисунка, меняются в широких пределах, значительно возрастая от высоких широт к низким: от 2900 МДж/м<sup>2</sup> на севере до 5200 МДж/м<sup>2</sup> на юге. Интересно, что в июне месячная сумма суммарной радиации на севере России составляет 590...670 МДж/м<sup>2</sup>, а на юге — 750...920 МДж/м<sup>2</sup>.

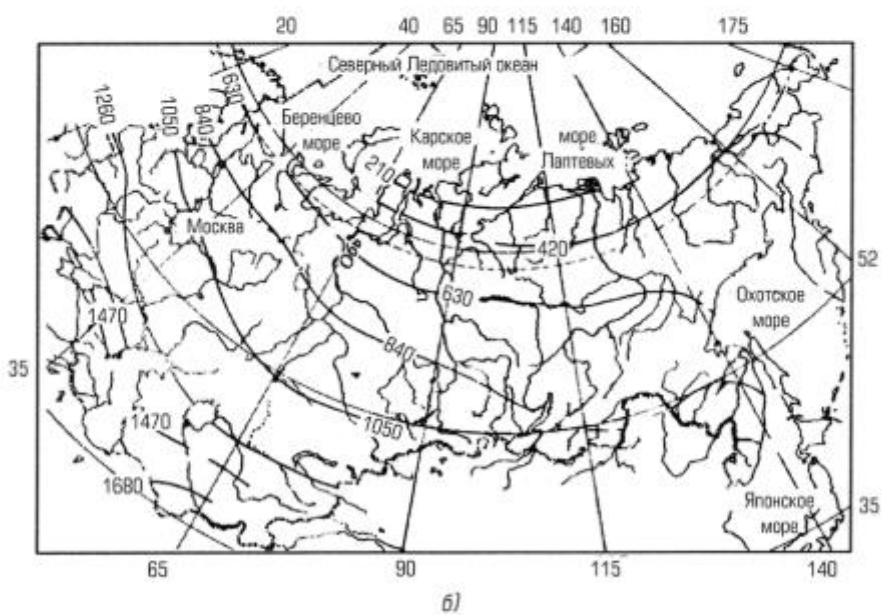
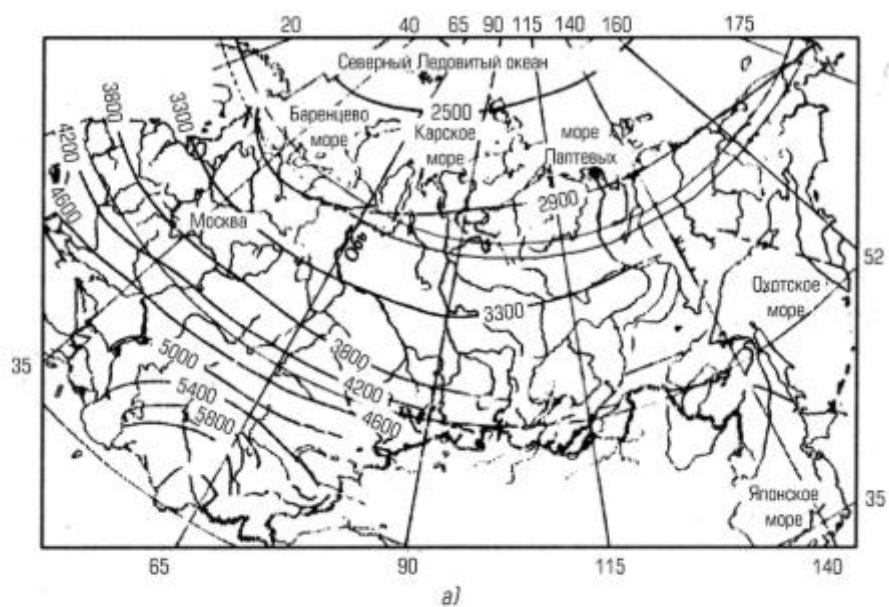


Рис. 2.1. Распределение средних многолетних годовых сумм (по Т.Г. Берлянд и Н.А. Ефимовой). Пересчет сумм из килокалорий в мегаджоули выполнен автором учебника:

а — суммарной радиации; б — радиационного баланса деятельной поверхности

Довольно большой приход суммарной радиации на севере, вполне сравнимый с таковым на юге, обусловлен полярным днем.

**Отраженная солнечная радиация. Альbedo.** Суммарная радиация, дошедшая до земной поверхности, частично отражаясь от нее, создает *отраженную солнечную радиацию* —  $R_k$ , направленную от земной поверхности в атмосферу. Значение отраженной радиации в значительной степени зависит от свойств и состояния отражающей поверхности: цвета, шероховатости, влажности и др. Отражательную способность любой поверхности можно характеризовать значением ее *альbedo*  $A_k$ , под которым понимают отношение отраженной солнечной радиации к суммарной. Альbedo обычно выражают в процентах:

$$A_k = (R_k/Q) \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

Наблюдения показывают, что альbedo различных поверхностей изменяется в сравнительно узких пределах (10...30%), исключение составляют снег и вода (табл. 2.2).

Таблица 2.2

**Альbedo различных естественных поверхностей  
(по В.Л. Гаевскому и М.И. Будыко), %**

Поверхность	$A_k$	Поверхность	$A_k$
Свежий сухой снег	80...95	Поля ржи и пшеницы	10...25
Влажный снег	60...70	Картофельное поле	15...25
Чернозем влажный	Около 8	Хлопковое поле	20...25
Чернозем сухой	Около 15	Луг	15...25
Сухая глинистая почва	20...35	Лиственный лес летом	15...20
Сухая песчаная почва	20...45	Сухая степь	20...30
Свежая зеленая трава	Около 25		

Альbedo зависит от влажности почвы, с возрастанием которой оно уменьшается, что имеет важное значение в процессе изменения теплового режима орошаемых полей. Вследствие уменьшения альbedo при увлажнении почвы увеличивается поглощаемая радиация. Альbedo различных поверхностей имеет хорошо выраженный дневной и годовой ход, обусловленный зависимостью альbedo от высоты Солнца. Наименьшее значение альbedo наблюдают в околополуденные часы, а в течение года — летом.

**Собственное излучение Земли и встречное излучение атмосферы. Эффективное излучение.** Земная поверхность как физическое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля ( $-273$  °C), является



источником излучения, которое называют *собственным излучением Земли* —  $E_3$ . Оно направлено в атмосферу и почти полностью поглощается водяным паром, капельками воды и диоксидом углерода, содержащимся в воздухе. Излучение Земли зависит от температуры ее поверхности:

$$E_3 = \delta \sigma T^4, \quad (2.5)$$

где  $\delta$  — относительная излучательная способность земной поверхности. Для чернозема  $\delta = 0,87$ ; для песка — 0,89; для луга — 0,94; для воды — 0,96;  $\sigma$  — постоянная Стефана–Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $T$  — абсолютная температура поверхности, К.

Атмосфера, поглощая небольшое количество солнечной радиации и практически всю энергию, излучаемую земной поверхностью, нагревается и в свою очередь также излучает энергию. Около 30% атмосферной радиации уходит в космическое пространство, а около 70% приходит к поверхности Земли и называется *встречным излучением атмосферы* —  $E_a$ .

Количество энергии, излучаемое атмосферой, возрастает с повышением температуры, содержания водяного пара, облачности.

Поверхность Земли поглощает это встречное излучение почти целиком (на 90...99%). Таким образом, оно является для земной поверхности важным источником тепла в дополнение к поглощаемой солнечной радиации. Это влияние атмосферы на тепловой режим Земли называют *парниковым* или *оранжерейным эффектом* вследствие внешней аналогии с действием стекол в парниках и оранжереях. Стекло хорошо пропускает солнечные лучи, нагревающие почву и растения, но задерживает тепловое излучение почвы и растений.

Разность между собственным излучением поверхности Земли и встречным излучением атмосферы называют *эффективным излучением* —  $E_{эф}$ :

$$E_{эф} = E_3 - E_a. \quad (2.6)$$

В ясную и малооблачную погоду  $E_{эф}$  гораздо больше, чем в пасмурную, как днем, так и ночью. Но днем оно перекрывается поглощенной солнечной радиацией, поэтому поверхность в эти часы нагревается. Ночью же эффективное излучение остается без всякой компенсации, поэтому температура земной поверхности в эту часть суток понижается. Земная поверхность в средних широтах теряет за счет эффективного излучения 70...140 Вт/м<sup>2</sup>, что составляет примерно половину количества тепла, которое она получает от поглощения солнечной радиации.

### 2.3. РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Разность между входящими и уходящими потоками лучистой энергии называют *радиационным балансом земной поверхности* —  $B$ .

Приходная часть радиационного баланса земной поверхности днем состоит из прямой солнечной и рассеянной радиации, а также излучения атмосферы. Расходной частью баланса являются излучение земной поверхности и отраженная солнечная радиация:

$$B = S' + D + E_a - E_s - R_k. \quad (2.7)$$

Уравнение можно записать и в другом виде:

$$B = Q - R_k - E_{эф}. \quad (2.8)$$

Для ночного времени уравнение радиационного баланса имеет следующий вид:

$$B = E_a - E_s, \text{ или } B = -E_{эф}. \quad (2.9)$$

Если приход радиации больше, чем расход, то радиационный баланс положительный и деятельная поверхность<sup>1</sup> нагревается. При отрицательном балансе она охлаждается. Летом радиационный баланс днем положительный, а ночью отрицательный. Переход через ноль происходит утром примерно через 1 ч после восхода Солнца, а вечером — за 1...2 ч до захода Солнца, когда его высота над горизонтом составляет 10...15°.

В холодное время года в районах, где устанавливается устойчивый снежный покров, радиационный баланс отрицательный в течение суток, т.е. здесь в этот период деятельная поверхность постоянно охлаждается.

Годовой радиационный баланс для всей Земли, кроме полярных ледовых зон, положительный. Однако это не означает, что радиационное тепло постоянно накапливается и климат поэтому становится из года в год теплее. Радиационное тепло расходуется на нагревание и движение воздуха, на испарение воды, на биологические процессы (подробнее см. гл. 3).

Изменчивость средних многолетних годовых сумм радиационного баланса на территории России, как и суммарной радиации, в целом широтная (см. рис. 2.1, б). В высоких широтах радиационный баланс суши в среднем составляет около 200, а на юге достигает 1500...1700 МДж/(м<sup>2</sup> · год).

<sup>1</sup> Деятельная поверхность — тонкий поверхностный слой почвы, воды или растительности, который непосредственно поглощает солнечную и атмосферную радиацию и отдает излучение в атмосферу, чем регулирует термический режим прилегающих слоев воздуха и нижележащих слоев почвы, воды, растительности.

Радиационный баланс земной поверхности существенно влияет на распределение температуры в почве и приземном слое атмосферы, а также на процессы испарения и снеготаяния, образование туманов и заморозков, изменение свойств воздушных масс (их трансформацию).

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

Эффективными агрономическими приемами воздействия на радиационный, а следовательно, и на тепловой режим деятельной поверхности являются мульчирование (покрытие почвы тонким слоем торфяной крошки, перепревшим навозом, древесными опилками и др.), укрытие почвы полиэтиленовой пленкой, орошение. Все это изменяет отражательную и поглощательную способности деятельной поверхности.

#### 2.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

Для измерения интенсивности потоков лучистой энергии на сети метеостанций и при полевых наблюдениях наиболее широко используют термоэлектрические приборы<sup>1</sup>.

Прямую солнечную радиацию  $S$  измеряют *актинометром* М-3 (рис. 2.2, а), устанавливая приемную поверхность перпендикулярно солнечным лучам.

Интенсивность суммарной ( $Q$ ), рассеянной ( $D$ ) и отраженной ( $R_k$ ) радиации измеряют *пиранометром* М-80М (см. рис. 2.2, б). При расположении приемной части вверх без затенения измеряют  $Q$ , при затенении —  $D$ , а направив ее вниз —  $R_k$ .

Радиационный баланс деятельной поверхности измеряют *балансометром* М-10М (см. рис. 2.2, в).

Сила тока, возникающего в термобатареях приемных поверхностей, пропорциональна интенсивности потоков радиации, и измеряют ее с помощью стрелочного гальванометра. Для перевода делений шкалы гальванометра в абсолютные единицы ( $Вт/м^2$ ) применяют переводные множители.

<sup>1</sup> Устройство этих и других приборов, методы работы с ними подробно изложены в: Павлова М.Д. Практикум по агрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1984; Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994.

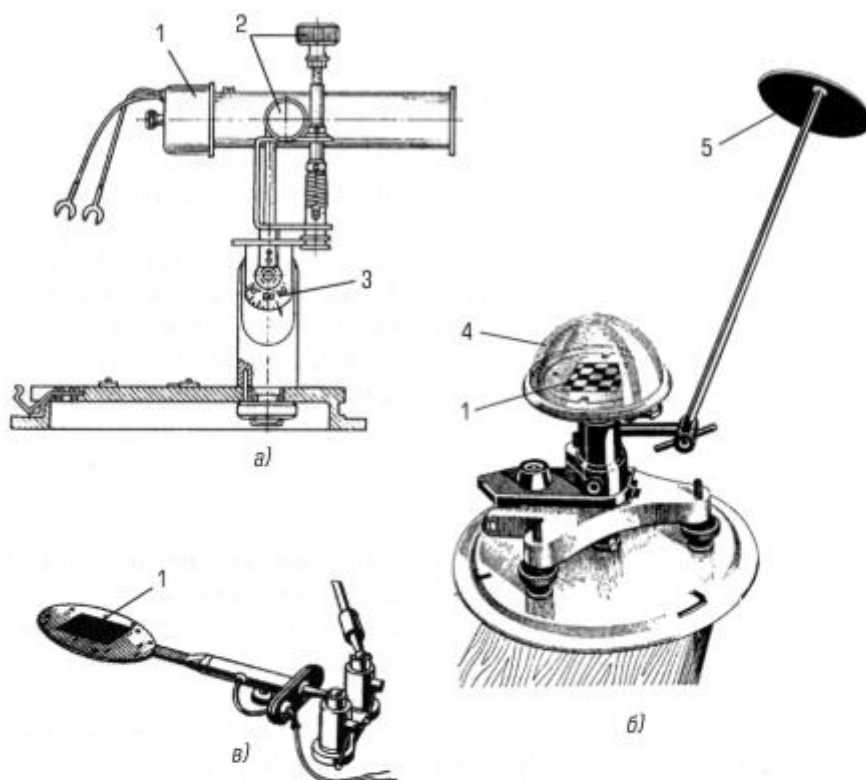


Рис. 2.2. Приборы для измерения радиации:

а — актинометр М-3; б — пиранометр М-80М; в — балансомер М-10М; 1 — термобатарея; 2 — винты для наведения на Солнце; 3 — шкала широт; 4 — защитный колпак; 5 — теневой экран

## 2.5. ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ И РАСТЕНИЯ

Зеленые растения, содержащие хлорофилл, способны при помощи лучистой энергии создавать и накапливать органические вещества, а следовательно, обеспечивать формирование урожая. Кроме того, часть поглощенной лучистой энергии растения расходуют на дыхание, на транспирацию, синтез витаминов, ферментов и хлорофилла, передвижение веществ в клетках и органах, движение устьиц и другие физиологические и биохимические процессы.

Воздействие солнечной радиации на растение можно рассматривать в трех аспектах — влияние:

- качества света (спектрального состава);
- количества света (освещенности);
- продолжительности освещения.

### **Спектральный состав лучистой энергии, ее биологическое значение.**

Лучистая энергия (радиация) — это электромагнитные волны различной длины ( $\lambda$ ). В актинометрии длину волн чаще всего выражают в микрометрах ( $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ), а иногда в нанометрах ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).

Потоки лучистой энергии по длине волн условно делят на *коротковолновую* ( $\lambda \leq 4 \text{ мкм}$ ) и *длинноволновую* ( $\lambda > 4 \text{ мкм}$ ) радиацию. Спектр солнечной радиации на границе земной атмосферы практически заключается между длинами волн 0,17 и 4 мкм, а земного и атмосферного излучения — от 4 до 120 мкм. Следовательно, потоки солнечного излучения ( $S$ ,  $D$ ,  $R_k$ ) относятся к коротковолновой радиации, а излучение Земли ( $E_z$ ) и атмосферы ( $E_a$ ) — к длинноволновой.

Спектр солнечной радиации можно разделить на три качественно различные части: ультрафиолетовую ( $\lambda < 0,40 \text{ мкм}$ ), видимую ( $0,4 \text{ мкм} < \lambda \leq 0,75 \text{ мкм}$ ) и ближнюю инфракрасную ( $0,76 \text{ мкм} < \lambda \leq 4 \text{ мкм}$ ). До ультрафиолетовой части спектра солнечной радиации лежит рентгеновское излучение, а за инфракрасной — радиоизлучение Солнца. На верхней границе атмосферы на ультрафиолетовую часть спектра приходится около 9% энергии солнечного излучения, 47 — на видимую и 44% — на инфракрасную.

Радиацию, излучаемую Землей и атмосферой, называют *дальней инфракрасной радиацией*.

Биологическое действие разных видов радиации на растения различно. Ультрафиолетовая радиация замедляет ростовые процессы, но ускоряет прохождение этапов формирования репродуктивных органов у растений. Кроме того, она способствует накоплению в растениях аскорбиновой кислоты, повышает их холодостойкость, обеспечивает закалывание растений.

Значение инфракрасной радиации, которая активно поглощается (особенно ближняя инфракрасная) водой листьев и стеблей растений, состоит в ее тепловом эффекте, что существенно влияет на рост и развитие растений.

Солнечный свет воздействует на микроорганизмы, обитающие в почве, и на процессы, происходящие в ней. Механизм действия солнечного света на микробиологическую активность почв еще полностью не выяснен. Однако установлено, что наибольшее количество микроорганизмов наблюдают в почве при ее облучении ультрафиолетовой радиацией, наименьшее — инфракрасной. Как известно, в состав гумуса входят органические соединения, способные ингибировать (сдерживать) деятельность почвенных ферментов. Ультрафиолетовая радиация инактивирует ингибирующие вещества, что повышает биологическую активность, а следовательно, плодородие почвы. С другой стороны, при фотоокислении гумуса («выцветание» гумуса) ухудшаются его коллоидно-химические свойства. И, таким образом, при длительном пребывании

почвы под паром или пропашными культурами постепенно снижаются возможности участия гумуса в структурообразовании, поглощательной способности почвы и т.д.

Видимая часть солнечного спектра, во-первых, создает освещенность. Во-вторых, с областью видимой радиации почти совпадает (захватывая частично область ультрафиолетовой радиации) так называемая физиологическая радиация ( $\lambda = 0,35...0,75$  мкм), которая поглощается пигментами листа. Ее энергия имеет важное регуляторно-энергетическое значение в жизни растения. В пределах этого участка спектра выделяется область фотосинтетически активной радиации.

**Фотосинтетически активная радиация.** В процессе фотосинтеза используется не весь спектр солнечной радиации, а только его часть, находящаяся в интервале длин волн  $0,38...0,71$  мкм, — *фотосинтетически активная радиация (ФАР)*.

Известно, что видимая радиация, воспринимаемая глазом человека как белый цвет, состоит из цветных лучей — красных, оранжевых, желтых, зеленых, голубых, синих и фиолетовых.

Усвоение энергии солнечной радиации листьями растений селективно (избирательно). Наиболее интенсивно листья поглощают сине-фиолетовые ( $\lambda = 0,48...0,40$  мкм) лучи, способствующие синтезу белковых веществ, и оранжево-красные ( $\lambda = 0,65...0,68$  мкм) лучи, способствующие синтезу углеводов, менее — желто-зеленые ( $\lambda = 0,58...0,50$  мкм) и дальние красные ( $\lambda > 0,69$  мкм) лучи.

У земной поверхности максимум энергии в спектре прямой солнечной радиации, когда Солнце находится высоко, приходится на область желто-зеленых лучей (диск Солнца желтый). Когда же Солнце располагается у горизонта, максимальную энергию имеют дальние красные лучи (солнечный диск красный). Поэтому энергия прямого солнечного света мало участвует в процессе фотосинтеза.

Как отмечалось выше (см. разд. 2.2), прямая солнечная радиация, проходя через атмосферу, частично рассеивается. В чистом и сухом воздухе интенсивность коэффициента молекулярного рассеяния подчиняется закону Релея:

$$K = C/\lambda^4, \quad (2.10)$$

где  $C$  — коэффициент, зависящий от числа молекул газа в единице объема;  $\lambda$  — длина рассеиваемой волны.

Поскольку длина дальних волн красного света почти вдвое больше длины волн фиолетового света, первые рассеиваются молекулами воздуха в 14 раз меньше, чем вторые. Однако, так как первоначальная энергия (до рассеяния) фиолетовых лучей меньше, чем синих и голубых, то максимум энергии в рассеянном свете (рассеян-

ной солнечной радиации) смещается на сине-голубые лучи, что и обуславливает голубой цвет неба. Таким образом, рассеянная радиация более богата фотосинтетически активными лучами, чем прямая.

В воздухе, содержащем примеси (мелкие капельки воды, кристаллики льда, пылинки и т.д.), рассеяние одинаково для всех участков видимой радиации. Поэтому небо приобретает белесоватый оттенок (появляется дымка). Облачные же элементы (крупные капельки и кристаллики) вообще не рассеивают солнечные лучи, а диффузно их отражают. В результате облака, освещенные Солнцем, имеют белый цвет.

**Интенсивность радиации (освещенности) и растения.** От количества поступающей солнечной радиации (особенно ФАР) зависит скорость физиологических процессов, протекающих в тканях растений: фотосинтез, газообмен, транспирация.

Зависимость интенсивности фотосинтеза от прихода ФАР характеризуется так называемыми *световыми кривыми* фотосинтеза и газообмена, имеющими в общем виде гиперболическую форму.

Установлено, что для накопления органического вещества растений необходимо, чтобы интенсивность освещенности превышала определенное значение, называемое *компенсационной точкой*. Это уровень ФАР, при котором интенсивность фотосинтеза равна интенсивности дыхания (поглощение  $\text{CO}_2$  уравнивается его выделением). Для светолюбивых растений, к которым относятся сельскохозяйственные культуры, значение компенсационной точки находится в пределах интенсивности ФАР 20...35 Вт/м<sup>2</sup> (2000...3500 лк). Ниже указанного значения расход органического вещества на дыхание больше, чем его образование в процессе фотосинтеза.

Световые кривые различных растений показаны на рис. 2.3. Они характеризуют зависимость интенсивности фотосинтеза [ $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ ] от количества поступающей солнечной радиации. При увеличении интенсивности ФАР от компенсационной точки до 100 Вт/м<sup>2</sup> для теневыносливых и до 210...280 Вт/м<sup>2</sup> для светолюбивых растений продуктивность фотосинтеза растет. При дальнейшем увеличении ФАР и среднем содержании  $\text{CO}_2$  в воздухе (0,03%) фотосинтез практически не возрастает. При этих значениях радиации наступает *световое насыщение фотосинтеза*.

Состояние, когда при увеличении ФАР интенсивность фотосинтеза для данных условий удерживается на одном максимальном уровне, называют *уровнем «плато»*. В дневное время ФАР на верхней границе фитоценоза обычно превышает эти значения, но внутри посевов и насаждений, а также в теплицах в пасмурные дни интенсивность ФАР бывает недостаточна. Особенно это проявляется в густых, развитых посевах, что приводит к ослаблению фотосинтеза и, следовательно, снижению продуктивности посевов.

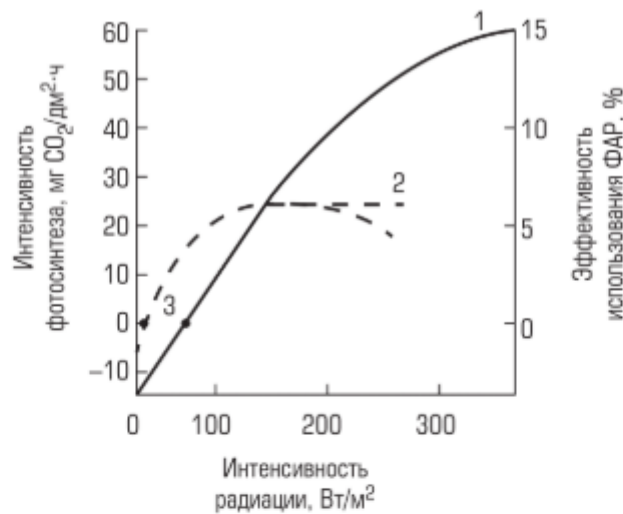


Рис. 2.3. Световые кривые фотосинтеза светолюбивых (1) и теневыносливых (2) растений, 3 — компенсационные точки (по А.М. Шульгину)

Так как ФАР является одним из важнейших факторов продуктивности сельскохозяйственных растений, информация о количестве поступающей ФАР, учет ее распределения по территории и во времени имеют большое практическое значение.

Интенсивность ФАР можно измерить, но для этого необходимы специальные светофильтры, пропускающие только волны в диапазоне 0,38...0,71 мкм. Такие приборы есть, но на сети актинометрических станций их не применяют, а измеряют интенсивность интегрального спектра солнечной радиации. Значение ФАР можно рассчитать по данным о приходе прямой, рассеянной или суммарной радиации с помощью коэффициентов, предложенных Б.И. Гуляевым, Х.Г. Тоомингом и Н.А. Ефимовой:

$$Q_{\text{ФАР}} = 0,43S' + 0,57D, \quad (2.11)$$

$$Q_{\text{ФАР}} = 0,52Q. \quad (2.12)$$

Н.А. Ефимовой составлены карты распределения месячных и годовых сумм  $Q_{\text{ФАР}}$  на территории России (рис. 2.4).

Для характеристики степени использования посевами ФАР применяют коэффициент полезного действия ФАР:

$$\text{КПД}_{\text{ФАР}} = \frac{\Sigma Q'_{\text{ФАР}}}{\Sigma Q_{\text{ФАР}}} \cdot 100\%, \quad (2.13)$$



где  $\Sigma Q'_{\text{ФАР}}$  — сумма ФАР, затрачиваемая на фотосинтез за период вегетации растений;  $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  — сумма ФАР, поступающая на посевы за этот период;

$$\Sigma Q'_{\text{ФАР}} = qY, \quad (2.14)$$

где  $q$  — удельная теплота сгорания органического вещества,  $q = 18 \cdot 10^3 \dots 20 \cdot 10^3$  МДж/т;  $Y$  — урожайность сухой биомассы в целом или в ее хозяйственно ценной части, т/га.

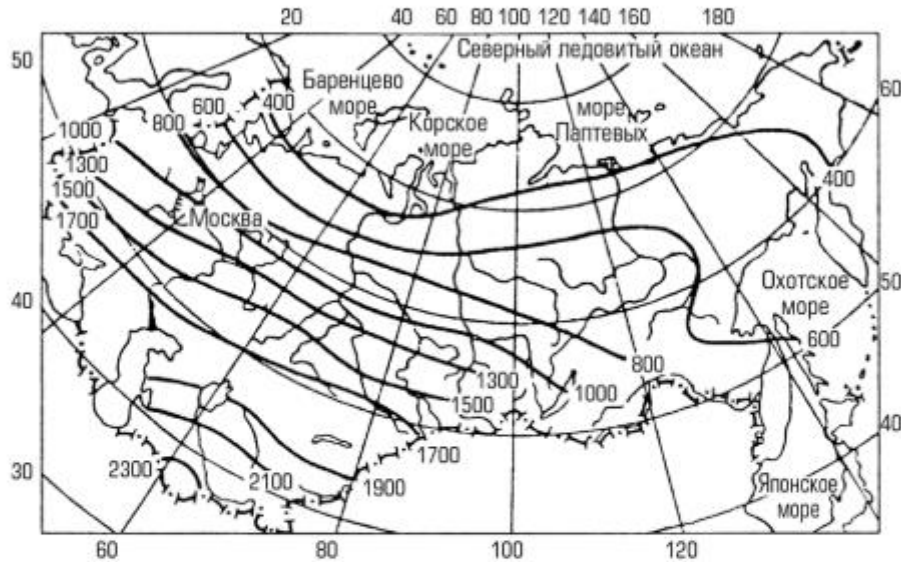


Рис. 2.4. Распределение средних многолетних сумм ФАР за период активной вегетации, МДж/м<sup>2</sup>

Таким образом,  $\text{КПД}_{\text{ФАР}}$  есть отношение количества энергии, содержащейся в органическом веществе растений, образовавшемся в течение вегетации, к общему приходу ФАР за тот же период.

Коэффициент полезного действия ФАР посевов зависит от сроков и густоты посева, обеспеченности влагой, количества внесенных удобрений, уровня агротехники, условий погоды.

Возможная эффективность фотосинтеза посева в наилучшем его состоянии (оптимальная густота, максимальная ассимиляционная поверхность) — 12...15%. Но в таком хорошем состоянии посевы бывают лишь часть периода вегетации: много времени уходит на первые этапы развития (нарастание вегетативной массы) и созревание (листья в это время теряют фотосинтетическую активность). Поэтому в итоге  $\text{КПД}_{\text{ФАР}}$  посевов гораздо ниже.

По средним за период вегетации значениям КПД<sub>ФАР</sub> урожайность посевов, по А.А. Ничипоровичу, разделяют на обычно наблюдаемую (0,5...1,5%), хорошую (1,5...3,0%), рекордную (3,5...5,0%) и теоретически возможную (6...8%).

Живые организмы чутко реагируют на изменение интенсивности освещенности, создаваемой солнечным излучением. По различной реакции на интенсивность освещенности все формы растительности делят на светолюбивые и теневыносливые.

Недостаточная освещенность в посевах обуславливает, например, слабую дифференциацию тканей соломины зерновых культур. В результате уменьшаются крепость и эластичность тканей, что часто приводит к полеганию посевов. В загущенных посевах, например, кукурузы ослабляется образование початков на растениях, так как пыльца теряет жизнеспособность из-за слабой освещенности солнечной радиацией. Затенение в кронах плодовых растений сдерживает образование листьев и плодов, их кутикула слабо развита. Оно вызывает и недостаточную окраску плодов, снижает их качество.

Высокая интенсивность радиации может разрушать пластиды и вызывать световые хлорозы и «солнечный ожог». В результате, например, клетки плодов отмирают, буреют и пробковеют.

Солнечная радиация влияет на химический состав сельскохозяйственной продукции. Например, сахаристость свеклы и плодов, содержание белка в зерне пшеницы непосредственно зависят от числа солнечных дней. Количество масла в семенах подсолнечника, льна также возрастает с увеличением прихода солнечной радиации.

В то же время известно, что в кормовых травах, убранных в пасмурную погоду или рано утром, содержится больше нитратов. Аналогичная зависимость отмечена и при выращивании овощных культур в условиях недостаточного освещения. Причем есть примеры, что влияние интенсивности освещенности на накопление нитратов доминирует над влиянием остальных факторов, в том числе и повышенных доз азотных удобрений.

Освещенность надземной части растений существенно определяет поглощение корнями питательных веществ. При слабой освещенности замедляется перевод ассимилятов в корни, и в результате тормозятся биосинтетические процессы, происходящие в клетках растений, в том числе и усвоение растениями калия и магния.

Интенсивность солнечной радиации влияет на появление, распространение и развитие болезней растений. Период заражения состоит из двух фаз, различающихся между собой по реакции на световой фактор. Первая из них — собственно прорастание спор и проникновение заразного начала в ткани поражаемой культуры — в большинстве случаев не зависит от наличия и интенсивности света. Вторая — после прорастания спор — наиболее активно проходит при повышенной освещенности.

Положительное действие света сказывается также на скорости развития патогена в растении-хозяине. Особенно четко это проявляется у ржавчинных грибов. Чем больше света, тем короче инкубационный период у линейной ржавчины пшеницы, желтой ржавчины ячменя, ржавчины льна и фасоли и т.д. А это увеличивает число генераций гриба и повышает интенсивность поражения. В условиях интенсивного освещения у этого патогена возрастает плодовитость (табл. 2.3).

Таблица 2.3

**Влияние интенсивности света на пораженность хлебов ржавчиной в зависимости от степени освещения (по Гасснеру и Аппелю), число спор на 1 см<sup>2</sup>**

<i>Вид ржавчины</i>	<i>На естественно освещенных растениях (только дневной свет)</i>	<i>На сильно освещенных растениях (дневной свет + ночью лампы в 2000 кл)</i>
Бурая ржавчина ржи	62	99
Бурая ржавчина пшеницы	14	56
Корончатая ржавчина овса	93	351

Некоторые заболевания, наоборот, наиболее активно развиваются при недостаточном освещении, вызывающем ослабление растений и снижение их устойчивости к болезням (возбудителям разного рода гнилей, особенно овощных культур).

Освещенность во многом определяет циркадные ритмы, т.е. активность вредителей. Например, у насекомых ей подчиняются моторная и половая активность, выход бабочек из куколок, откладка яиц и т.п.

Солнечный свет также сказывается на эффективности «работы» большинства гербицидов по борьбе с сорняками: в солнечную погоду обработка дает лучший эффект, чем в пасмурную.

Для измерения интенсивности потоков солнечной радиации, как отмечалось ранее, используют термоэлектрические приборы (см. рис. 2.2).

Естественную освещенность, а также создаваемую лампами накаливания и люминесцентными лампами измеряют *люксметром* Ю-16 (рис. 2.5), действие которого основано на фотоэлектрическом эффекте. Единицей измерения освещенности в СИ является люкс (лк).

В умеренных широтах освещенность может меняться в течение летнего дня от нескольких сотен люкс (500...700 лк) до нескольких десятков тысяч люкс (90...100 тыс. лк). В малооблачную погоду при больших высотах Солнца освещенность увеличивается до 130...140 тыс. лк.

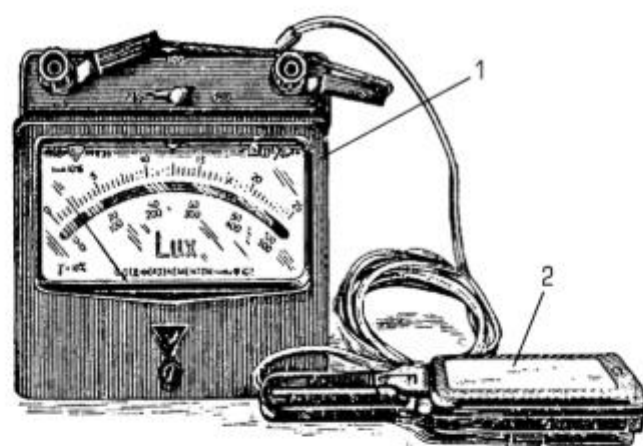


Рис. 2.5. Люксметр:  
1 — измеритель; 2 — селеновый фотоэлемент

Получить информацию о световом режиме того или иного географического района без постановки специальных наблюдений за освещенностью можно, пересчитав данные актинометрических измерений интенсивности солнечной радиации в киловаттах на  $1 \text{ м}^2$  с использованием коэффициента — *светового эквивалента радиации*. Значения эквивалента раздельно для прямой и суммарной радиации при различных высотах Солнца приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Световой эквивалент прямой и суммарной радиации в зависимости от высоты Солнца, клк · м<sup>2</sup>/кВт**

Высота Солнца, град.	Радиация	
	Прямая	Суммарная
10...20	75	92
21...30	85	96
31...40	92	98
41...50	96	100
51...75	100	102

Для рассеянной радиации световой эквивалент для всех высот Солнца равен  $117 \text{ клк} \cdot \text{м}^2/\text{кВт}$  при облачности 0...6 баллов и  $103 \text{ клк} \cdot \text{м}^2/\text{кВт}$  при облачности 7...10 баллов. Для приближенных оценок (с погрешностью около 10%) можно пользоваться одним значением светового эквивалента при любой облачности и всех высотах

Солнца больше  $10^\circ$ : 93 — для прямой, 100 — для суммарной и 107 клк · м<sup>2</sup>/кВт — для рассеянной радиации.

**Продолжительность освещения и растения.** Ритм солнечной радиации (чередование светлой и темной частей суток) является наиболее устойчивым и повторяющимся из года в год фактором внешней среды. С ним связана ритмика фотосинтеза, клеточных делений и роста, дыхания и многое другое.

В результате многолетних исследований физиологами установлена зависимость перехода растений к генеративному развитию от определенного соотношения длины дня и ночи. В связи с этим культуры по *фотопериодической реакции* можно классифицировать по группам:

- *короткого дня*, развитие которых задерживается при продолжительности дня больше 10...12 ч. Короткий день способствует закладке цветков, а длинный день препятствует этому. К таким культурам относятся соя, рис, просо, сорго, кукуруза и др.;
- *длинного дня*, требующие для своего развития продолжительного освещения. Их развитие ускоряется, когда продолжительность дня составляет около 20 ч. К этим культурам относятся рожь, овес, пшеница, лен, горох, шпинат, клевер и др.;
- *нейтральные по отношению к длине дня*, развитие которых не зависит от продолжительности дня, например томат, гречиха, бобовые, ревеня.

Различные сорта культур как длинного, так и короткого дня в зависимости от других факторов по-разному реагируют на длину дня и ночи. В целом же растения длинного дня приспособлены к условиям высоких широт, а короткого — низких широт.

Установлено, что для начала цветения растений необходимо преобладание в лучистом потоке определенного спектрального состава. Растения короткого дня быстрее развиваются, когда максимум излучения приходится на сине-фиолетовые лучи, а растения длинного дня — на красные лучи. Особенно сильно проявляется реакция растений по отношению к спектральному составу радиации при отклонении продолжительности дня от оптимальной.

Связь между длиной дня и фотопериодической реакцией растений исследуют в опытах с географическими посевами культур и в опытах с различными сроками сева, а также в фитотронах, позволяющих устанавливать любую продолжительность дня.

Суточная продолжительность освещения земной поверхности Солнцем определяется вращением Земли вокруг своей оси, наклоном этой оси к плоскости земной орбиты, широтой места и склонением Солнца. Вращение Земли обуславливает смену дня и ночи, остальные факторы вызывают изменение длины дня и ночи в течение года.

Продолжительность светлой части суток (астрономическая длина дня) зависит от времени года и географической широты.

В первом приближении в каждом полушарии выделяют по три пояса освещения: тропический, ограниченный тропиками, где длина дня и ночи в течение года изменяется от 10,5 до 13,5 ч, сумерки очень короткие; умеренный, идущий до полярного круга, где длина дня и ночи меняется от 6 до 18 ч, а сумерки продолжительные, и полярный, где Солнце не восходит от 103 до 179 сут., т.е. длина дня и ночи колеблется от 0 до 24 ч.

В средних широтах, например в Санкт-Петербурге, продолжительность дня в течение года меняется от 6 до 19 ч.

При определении астрономической длины дня не учитывается вечерний переходный период от захода Солнца до наступления ночной темноты (*вечерние сумерки*<sup>1</sup>) и утренний переходный период от окончания темноты до восхода Солнца (*утренние сумерки* — рассвет). В безоблачную погоду во время сумерек освещенность может достигать 600...650 лк.

Для растений приход рассеянной радиации в некоторую часть сумерек еще (уже) имеет физиологическое значение. Поэтому целесообразно учитывать физиологически значимую для растений длину дня, тем более что в северных районах продолжительность сумерек (белые ночи) летом может достигать нескольких часов. Физиологическая длина дня на 15-е число каждого месяца для различных широт приведена в табл. 2.5.

При увеличении продолжительности дня в северных широтах в вегетационный период удлиняется период фотосинтеза растений. В результате, например, луговые травы и кормовые культуры накапливают в течение короткого лета большую растительную массу. В защищенном грунте (в парниках, теплицах) даже на Крайнем Севере создается возможность для выращивания овощей.

Продолжительность освещения имеет большое значение для продуктивности сельскохозяйственных культур и качества продукции, например для сахаристости сахарной свеклы, содержания масла в семенах масличных культур и т.д.

Длительность освещения влияет и на развитие болезней растений. Установлено, что большинство патогенов лучше развиваются в условиях нормального суточного хода освещенности, чем при непрерывном действии света. Например, оптимальные условия для развития желтой ржавчины создаются при 12-часовом освещении, мучнистой росы яровой пшеницы — при 8-часовом световом дне, а клевер за-

---

<sup>1</sup> Имеются в виду гражданские сумерки, т.е. промежуток времени, в течение которого Солнце находится под горизонтом не ниже 6...8°. В это время происходит освещение земной поверхности рассеянным светом.

Таблица 2.5

Физиологическая длина дня на широтах от 0 до 70° на 15-е число  
каждого месяца (по И.А. Шульгину), ч, мин

Месяц	Широта, град.							
	0	10	20	30	40	50	60	70
01	12,54	12,22	11,54	11,19	10,41	9,49	8,32	5,44
02	12,51	12,35	12,18	12,01	11,39	11,16	10,42	9,40
03	12,51	12,48	12,46	12,48	12,49	12,57	13,08	13,36
04	12,50	13,06	13,24	13,47	14,13	14,55	16,07	18,55
05	12,53	13,21	13,55	14,35	15,27	16,45	19,16	24,00
06	12,53	13,31	14,12	15,02	16,08	17,50	22,19	24,00
07	12,54	13,26	14,04	14,48	15,51	17,24	20,46	24,00
08	12,51	13,13	13,37	14,06	14,47	15,46	17,37	23,16
09	12,50	12,55	13,00	13,02	13,26	13,46	14,23	15,38
10	12,51	12,39	12,27	12,17	12,06	11,57	11,41	11,18
11	12,51	12,25	12,00	11,31	11,00	10,19	9,26	7,12
12	12,52	12,21	11,47	10,09	10,26	9,26	7,54	4,16

ражается фузариозом лишь при минимуме продолжительности дневного освещения, причем наиболее сильно болезнь развивается в условиях рассеянного освещения.

Длина дня и ночи также отражается на жизнедеятельности насекомых. Например, фотопериодизм через фоторецепторы активизирует гормоны, которые регулируют физиологические реакции и являются причиной изменения поведения насекомых. Особенно сильное воздействие фотопериодизм оказывает на миграцию, размножение и непосредственно влияет на диапаузу.

С продолжительностью дня связана продолжительность солнечного сияния, т.е. промежуток времени, в течение которого прямые солнечные лучи освещают земную поверхность. Она выражается либо в часах, либо в процентах наибольшей возможной величины, т.е. астрономической длины дня.

Продолжительность солнечного сияния как в часах, так и в процентах возрастает от полярных широт к тропикам, в дождливых областях вблизи экватора она снова снижается.

На территории России продолжительность солнечного сияния увеличивается с севера на юг и с запада на восток в соответствии с режимом облачности: от 1000...1200 до 2000...2500 ч.

На метеостанциях ее регистрируют *гелиографом* ГУ-1 (рис. 2.6). Стекланный шар собирает падающие на него солнечные лучи в фокус. Прожог или следы прожога на специальной бумажной ленте показывают число часов солнечного сияния.

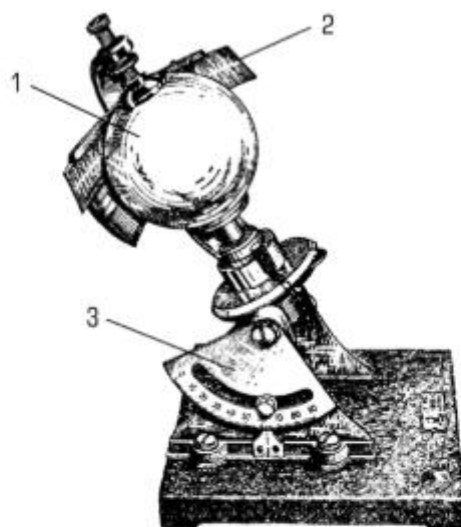


Рис. 2.6. Гелиограф:  
1 — стеклянный шар; 2 — лента; 3 — шкала широт

Продолжительность солнечного сияния имеет большое значение для продуктивности сельскохозяйственных культур и качества продукции. Для защищенного грунта, особенно в северных районах, эта метеорологическая величина определяет рентабельность производства.

Продолжительность часов солнечного сияния используется также при динамико-статистическом моделировании продукционного процесса в качестве одного из параметров метеорологического блока.

## 2.6. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ПОСЕВОВ

Посев культурных растений представляет собой сложную оптическую систему, перераспределяющую поток солнечной радиации.

Падающая на растительный покров суммарная радиация вступает во взаимодействие с фитозементами (отражение, рассеивание, поглощение). В результате этого изменяются интенсивность потока радиации, ее пространственная структура и спектральный состав. Эти изменения зависят от высоты Солнца и геометрической структуры агрофитоценоза, оптических свойств фитоземента и спектрального состава падающей радиации.

В плотных посевах высокорослых культур, образующих сомкнутую поверхность (кукуруза на силос, сахарный тростник и др.), 20...25% поступающей радиации отражается, 40...60% поглощается



верхним ярусом листьев, какая-то часть радиации рассеивается внутри посева, а какая-то проходит вниз через листовые пластинки, как через фильтр. В несомкнутом посеве солнечная радиация проходит до нижних ярусов листьев и даже до поверхности почвы без ослабления.

Пропускание радиации зависит также от ориентации листьев. При больших высотах Солнца ( $>35^\circ$ ) прямая радиация больше проникает в глубь посева, если ориентация листьев близка к вертикальной, и меньше, если их ориентация приближается к горизонтальной. При малой высоте Солнца пропускание радиации больше, если расположение листьев горизонтальное.

Одновременно с уменьшением интенсивности радиации по мере проникновения в глубь посева меняется и ее спектральный состав. В нижнем ярусе густых посевов преобладают зеленые и дальние инфракрасные лучи, которые, как отмечалось ранее (см. разд. 2.5), в фотосинтезе практически не участвуют.

Интенсивность фотосинтетически активной радиации в густых посевах большую часть дня может быть ниже компенсационной точки. По данным В.В. Поповой, в травостое люцерны высотой 30 см в нижнем ярусе листьев (10...20 см над почвой) утром интенсивность освещенности переходит через компенсационную точку на 2 ч позже, чем в верхнем слое. И даже при сильной инсоляции фотосинтез в этом ярусе листьев составляет лишь около 3% интенсивности фотосинтеза на поверхности травостоя, а продуктивность этого яруса достигает немногим более 10% полной продуктивности. В посевах подсолнечника в околополуденные часы поглощение ФАР листьями верхних ярусов составляет около 50%, а нижних — около 5% поступающей радиации (рис. 2.7). Из этой поглощенной радиации примерно 60% расходуется растениями на транспирацию, около 20% — на теплообмен с воздухом, а на фотосинтез остается менее 10% энергии (в хороших условиях 12...14%).

Основная ассимиляционная поверхность у растений — как известно, листья. В других зеленых частях растений: стеблях, осях, зеленых плодах и т.п. — фотосинтез обычно незначителен. Поэтому основной показатель, определяющий поглощение и пропускание ФАР в посевах и насаждениях, — отношение площади листовой поверхности к площади поля  $L$  (листовый индекс).

В умеренных широтах посев как фотосинтезирующая система наиболее производительно функционирует в период, когда листовой индекс составляет 4 : 1 ( $L = 4$ ), что соответствует 40000 м<sup>2</sup> листовой поверхности на 1 га (рис. 2.8). При таком индексе прирост биомассы за период, когда посев функционирует в оптимальном режиме, составляет более 70% максимального за вегетацию, хотя продолжительность этого периода — всего 30% общей длины вегетации. В южных



Рис. 2.7. Распределение поглощений ФАР по ярусам листьев в посевах подсолнечника (по В.В. Поповой)

районах при обилии света и хорошем водоснабжении оптимальное значение  $L$ , по данным А.А. Ничипоровича, равно 5...6. В то же время при недостатке воды развитие большой листовой поверхности здесь нежелательно, так как происходят большие затраты энергии на испарение. Поэтому в районах с недостатком влаги и высокой инсоляцией (лесостепи, степи) оптимально  $L = 2...3$ .

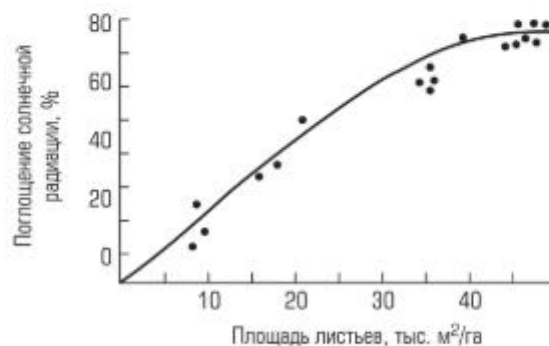


Рис. 2.8. Поглощение солнечной радиации посевам в зависимости от площади листьев

Особый режим радиации складывается в защищенном грунте: парниках и теплицах (см. разд. 11.5).

## 2.7 ПУТИ БОЛЕЕ ПОЛНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Высокое поглощение радиации имеет место в сомкнутых посевах и фитоценозах. До смыкания посевов коэффициент пропускания больше, чем коэффициент поглощения, особенно в начальные фазы развития растений, когда листовой индекс ценоза низок. Значит,  $KPD_{ФАР}$  зависит не только от сумм ФАР, поступающих за вегетационный период, но и от роста листовой поверхности и ее ориентации.

Несмотря на то что поток приходящей радиации невозможно регулировать, все же для обеспечения продукционного процесса и формирования урожая ее можно использовать в разной степени. Известно, что максимум притока суммарной радиации и ФАР отмечается в конце июня—начале июля. Поэтому опаздывание с севом, в частности, таких культур, всходы которых в ранние фазы растут медленно, приводит к значительному недоиспользованию радиации и несоответствию потребностей растений фактическому режиму ФАР. К тому времени, когда площадь листьев достигает оптимальных размеров, интенсивность ФАР оказывается уже значительно сниженной, поэтому уменьшается  $KPD_{ФАР}$  и урожай снижается (рис. 2.9). Только листовая поверхность многолетних трав, как можно видеть из рисунка, достигает максимума, причем очень высокого, ко времени наступления максимума приходящей ФАР. Следовательно, целесообразно принять все меры, чтобы к этому времени и на других посевах листовая поверхность достигала наибольшей площади с тем, чтобы максимально использовать солнечную радиацию. Основные меры, содействующие этому совпадению, — ранний посев, а также выбор культур и сортов с интенсивным ростом в начальные фазы развития.

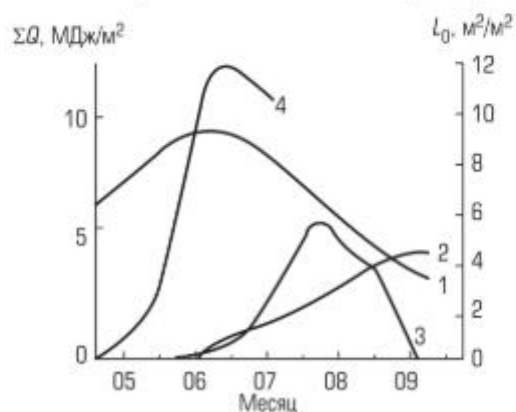


Рис. 2.9. Ход дневных сумм суммарной радиации (1) и относительной площади листьев посевов разных культур: кукурузы (2), картофеля (3), многолетних трав (4) в течение вегетационного периода (по Ю.В. Селгу и Х.Г. Тоомингу)

Повышения КПД<sub>ФАР</sub> можно также добиться, регулируя количество солнечной радиации, получаемое растением, путем создания определенной густоты посева и посадки.

Этого же можно достичь и методом расположения направления рядов, гребней. Еще в 1822 г. И.А. Стебут заметил, что освещенность растений и использование ими солнечной энергии меняются в зависимости от направления рядов растения. Так, ряды, направленные с севера на юг, полнее используют рассеянную радиацию (богатую фотосинтетически активными лучами) утренних и вечерних часов и меньше перегреваются в полдень. Эта идея используется при формировании, например, кустарников, которым придают форму прямоугольника, ориентированного меньшими сторонами на юг и север.

Кроме того, оптимизировать радиационный режим в кронах можно формированием их. Так, деревья с малообъемными кронами разных форм (веретеновидное, пальметта и др.), как показывает отечественный и зарубежный опыт, высокоурожайны и высокорентабельны. При этом повышаются и товарные качества плодов. Более благоприятные условия для пропускания и поглощения ФАР складываются также в садах со слаборослыми деревьями с малой толщиной крон.

Однако все эти приемы будут давать эффект, если процесс фотосинтеза обеспечен водой и минеральным питанием. По данным А.А. Ничипоровича, для обеспечения 1% КПД<sub>ФАР</sub> необходимо примерно 250...500 м<sup>3</sup> воды, 25...35 кг азота и калия, 10...15 кг фосфора и около 10 кг остальных элементов минерального питания. По его мнению, перспективно также выведение сортов с более высоким отношением сухой биомассы хозяйственно ценных органов (зерно, плоды, корнеплоды и т.д.) к площади листьев, которая работала на формирование урожая. Это особенно актуально для засушливых зон.

Кроме того, важные элементы агротехники, позволяющие увеличить эффективность использования ФАР растениями, — борьба с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур и уничтожение сорняков.

Использовать солнечную энергию в современной практике можно, преобразуя ее в тепловую и электрическую энергию с помощью гелиоустановок.

Гелиоустановки типа «горячий ящик» используют для нагрева воды, сушки фруктов и овощей, опреснения минерализованной воды и т.д. «Горячий ящик» обычно изготавливают в виде плоского прямоугольника, часто застекленного, герметичного (водонагреватель) или с вентиляционными отверстиями (гелиосушилка), который обращен тепловоспринимающей поверхностью к солнечным лучам. Гелиоустановки подобного типа экономят топливо и значительно сокра-

щают, например, время сушки овощей и фруктов, при этом качество и содержание витамина С в них выше, чем при естественной сушке.

По принципу «горячего ящика» устраивают также парники и теплицы.

Для получения температур более 100 °С применяют метод концентрации солнечной энергии. Концентраторами являются зеркальные отражатели различной формы, собирающие солнечные лучи в своем фокусе. Тело, помещенное в фокус параболического зеркала, может быть нагрето до 3000...4000 °С.

Все большее распространение получает использование солнечной энергии для получения тепла и света. Например, в Швеции выработанная в солнечные дни электроэнергия поступает в общую энергосистему, в результате экономятся органические энергоресурсы.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. На какие потоки делится лучистая энергия?
2. Что понимают под эффективным излучением?
3. Что такое альbedo, от чего зависит его значение?
4. Что такое радиационный баланс, как записывается уравнение баланса для дня и ночи? Представьте графически ход баланса.
5. Из каких частей состоит спектр солнечного излучения? Каково биологическое значение основных частей солнечного спектра?
6. Что такое КПД<sub>ФАР</sub> и как он определяется (рассчитывается)? Каков его биологически возможный предел?
7. Какое влияние оказывают освещенность и продолжительность дня на сельскохозяйственные культуры?
8. Как складывается радиационный режим в посевах?
9. Перечислите пути повышения использования ФАР агроценозами.
10. Как измеряются радиационные потоки?

### 3.1. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Деятельная поверхность, т.е. поверхность почвы, воды (а также растительного, снежного и ледяного покровов), непрерывно разными способами получает и теряет тепло. Через земную поверхность тепло передается вверх — в атмосферу и вниз — в почву или воду.

Во-первых, на деятельную поверхность поступают суммарная радиация и встречное излучение атмосферы. Энергия в большей или меньшей степени (в зависимости от альбедо) поглощается поверхностью, т.е. идет на ее нагревание. В то же время земная поверхность теряет тепло за счет собственного излучения и частичного отражения солнечной радиации. Ночью обмен лучистой энергии состоит только из собственного излучения Земли и встречного излучения атмосферы (см. разд. 2.2).

Во-вторых, земная поверхность обменивается теплом с атмосферой путем теплопроводности (подробнее этот процесс будет рассмотрен в гл. 4). Таким же образом тепло может либо уходить от деятельной поверхности вниз в почву, воду, растения (в деятельный слой), либо, напротив, приходиться к поверхности из глубины почвы и воды.

В-третьих, земная поверхность получает тепло при конденсации на ней водяного пара из воздуха или, напротив, теряет тепло на испарение с нее воды. В первом случае выделяется скрытое тепло, во втором тепло переходит в скрытое состояние.

При этом в любой промежуток времени от поверхности Земли уходит вниз и вверх в совокупности такое же количество тепла, которое она в это время получает сверху и снизу (т.е. выполняется закон сохранения энергии). Следовательно, алгебраическая сумма всех приходов и расходов тепла на деятельной поверхности должна быть равной нулю. Математической формой выражения этого является *уравнение теплового баланса деятельной поверхности*:

$$B = A + P + LE, \quad (3.1)$$

где  $B$  — радиационный баланс деятельной поверхности;  $A$  — поток тепла между деятельной поверхностью и нижележащими слоями;  $P$  — поток тепла между поверхностью и приземным слоем воздуха;  $LE$  — поток тепла, связанный с фазовыми преобразованиями воды (испарение — конденсация).

Другие составляющие теплового баланса земной поверхности (поток тепла от энергии ветра, приливов, от выпадающих осадков, расход энергии на фотосинтез и др.) значительно меньше указанных ранее членов баланса, поэтому их можно не принимать во внимание.

Смысл уравнения заключается в уравнивании радиационного баланса земной поверхности нерадикационной передачей тепла.

При положительном радиационном балансе (днем, летом) часть этого тепла затрачивается на нагревание деятельного слоя, часть — на нагревание приземного воздуха, растений, а часть — на испарение воды с почвы и растений. Когда радиационный баланс отрицательный (ночью, зимой), затраты тепла, связанные с эффективным излучением деятельной поверхности, компенсируются приходом тепла из деятельного слоя, от воздуха, часть тепла выделяется при конденсации (сублимации) водяного пара на деятельной поверхности.

Соотношение между нерадикационными потоками тепла зависит от характера подстилающей поверхности. Например, на водоемах днем основные затраты связаны с испарением и нагревом деятельного слоя и мало тепла отдается воздуху. На суше наименьшее значение имеет теплообмен в деятельном слое, соотношение же между  $P$  и  $LE$  зависит от влажности почвы. На хорошо увлажненных посевах, где деятельным слоем является и сам растительный покров, затраты тепла на испарение больше, чем на нагревание воздуха. Если почва в посевах слабо увлажнена, то радиационное тепло затрачивается в основном на нагревание растений и воздуха.

Суточный ход составляющих теплового баланса в районе Санкт-Петербурга показан на рис. 3.1. Видно, что изменения тепловых потоков в течение суток следуют за ходом радиационного баланса, который всегда является главным членом уравнения теплового баланса.

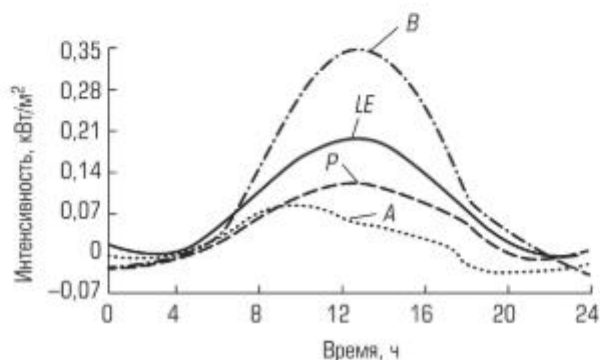


Рис. 3.1. Суточный ход составляющих теплового баланса за июль, Санкт-Петербург

Лишь максимум потока тепла в деятельном слое ( $A$ ) наблюдается в утренние часы. Подобные закономерности отмечаются и в годовом ходе составляющих теплового баланса.

### 3.2. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

Из того, что тепловой баланс земной поверхности равен нулю, не следует, что температура поверхности не меняется. Когда тепловой поток направлен вниз ( $+A$ ), то большая его часть, приходящая к поверхности сверху, остается в деятельном слое<sup>1</sup>. Температура этого слоя, а следовательно, и деятельной поверхности при этом возрастает. Напротив, при передаче тепла через земную поверхность снизу вверх ( $-A$ ) тепло в атмосферу уходит прежде всего из деятельного слоя, вследствие чего температура поверхности понижается.

За температурой поверхности почвы и температурой на различной глубине наблюдают на некоторых метеорологических станциях уже свыше 100 лет. Обработка этих данных позволила установить закономерности изменения температуры почвы в течение суток и года.

Дневное нагревание и ночное охлаждение поверхности почвы вызывают суточные колебания ее температуры. Суточный ход температуры имеет обычно вид простой волны. Минимум температуры поверхности почвы при ясной погоде наблюдается перед восходом Солнца, когда радиационный баланс еще отрицателен, а обмен теплом между воздухом и почвой незначителен. С восходом Солнца, по мере увеличения радиационного баланса, температура поверхности почвы возрастает. Максимум температуры наблюдается около 13 ч<sup>2</sup>, затем температура начинает понижаться.

В отдельные дни указанный суточный ход температуры почвы нарушается под влиянием облачности, осадков и других факторов. При этом максимум и минимум могут смещаться на другое время.

Разность между максимумом и минимумом в суточном или годовом ходе называется *амплитудой хода температуры*.

На амплитуду суточного хода температуры поверхности почвы влияют следующие факторы:

- время года. Летом амплитуда наибольшая, зимой — наименьшая;
- географическая широта. Амплитуда связана с полуденной высотой Солнца, которая возрастает в направлении от полюса к экватору, поэтому в полярных районах амплитуда незначительна,

<sup>1</sup> Деятельный слой — слой почвы (включая растительность) или воды, тепловое состояние которого обуславливается радиационным обменом и процессами теплообмена с атмосферой, а температура в нем испытывает суточные и годовые колебания.

<sup>2</sup> Здесь и далее указано среднее солнечное время.



а в тропических пустынях, где к тому же велико эффективное излучение, она достигает 50...60 °С;

- рельеф местности. По сравнению с равниной южные склоны нагреваются сильнее, северные — слабее, соответственно изменяется и амплитуда;
- растительный и снежный покров. Амплитуда суточного хода под этими покровами меньше, чем при их отсутствии, так как они уменьшают нагрев и охлаждение поверхности почвы;
- цвет почвы. Амплитуда суточного хода температуры поверхности темных почв больше, чем светлых, поскольку поглощение и излучение радиации у первых больше, чем у вторых;
- состояние поверхности. Рыхлые почвы имеют большую амплитуду, чем плотные; в плотных почвах поглощенное тепло распространяется вглубь, а в рыхлых остается в верхнем слое, поэтому последние больше нагреваются;
- влажность почвы. На поверхности влажных почв амплитуда меньше, чем на поверхности сухих; во влажных почвах поглощенное тепло, как и в плотных почвах, распространяется вглубь, а часть тепла затрачивается на испарение, вследствие этого они меньше нагреваются, чем сухие;
- облачность. В пасмурную погоду амплитуда значительно меньше, чем в ясную, так как облачность уменьшает дневной прогрев и ночное охлаждение деятельной поверхности.

Годовой ход температуры поверхности почвы определяется различным приходом солнечной радиации в течение года.

Наименьшие температуры на поверхности почвы обычно наблюдаются в январе—феврале, наибольшие — в июле или августе.

На амплитуду годового хода температуры поверхности почвы влияют те же факторы, что и на амплитуду суточного хода, за исключением широты места. Амплитуда годового хода в отличие от суточного возрастает с увеличением широты. В экваториальной зоне она в среднем составляет 2...3 °С, а в полярных районах материков превышает 70 °С (Якутия), так как в низких широтах высота Солнца в течение года меняется мало.

### 3.3. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВЫ

Между поверхностью почвы и ее нижележащими слоями происходит непрерывный обмен теплом. Передача тепла в почву осуществляется главным образом за счет молекулярной теплопроводности.

Нагревание и охлаждение почвы в основном зависят от ее теплофизических характеристик: теплоемкости и теплопроводности.

*Теплоемкость* — количество тепла, необходимое для повышения температуры почвы на 1 °С. Различают удельную и объемную теплоемкость.

Удельной теплоемкостью ( $C_{уд}$ ) называют количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг почвы на 1 °С.

Объемной теплоемкостью ( $C_{об}$ ) называют количество тепла, необходимое для нагревания 1 м<sup>3</sup> почвы на 1 °С.

В СИ удельная теплоемкость выражается в Дж/(кг · К), объемная — в Дж/(м<sup>3</sup> · К).

Между объемной и удельной теплоемкостями существует соотношение

$$C_{об} = C_{уд}\rho, \quad (3.2)$$

где  $\rho$  — плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>.

Для различных минеральных и органических компонентов почвы объемная теплоемкость почти одинакова и составляет  $2,0 \cdot 10^3 \dots 2,7 \cdot 10^3$  кДж/(м<sup>3</sup> · К) (табл. 3.1). Поэтому очевидно, что теплоемкость различных почв зависит не столько от состава твердой части почвы, сколько от количества воздуха и воды, находящихся в порах, так как теплоемкость воды равна  $4,2 \cdot 10^3$  кДж/(м<sup>3</sup> · К), а теплоемкость воздуха — 1,2 кДж/(м<sup>3</sup> · К). Следовательно, при одинаковом притоке или отдаче тепла сухие почвы нагреваются или охлаждаются больше и быстрее, чем влажные.

Способность почвы передавать тепло от слоя к слою называют *теплопроводностью*.

Мерой теплопроводности почвы служит *коэффициент теплопроводности* ( $\lambda$ ), который в СИ численно равен количеству тепла (Дж), проходящего за 1 с через основание столба почвы сечением 1 м<sup>2</sup> и высотой 1 м, если разность температур на верхнем и нижнем его основаниях равна 1 °С. Единицей измерения  $\lambda$  в СИ является Вт/(м · К).

Коэффициент теплопроводности твердой части почвы, как видно из табл. 3.1, изменяется от 0,25 до 8,80 Вт/(м · К). Поскольку коэффициент теплопроводности воды в 20 раз больше, чем воздуха, то теплопроводность почвы в значительной степени зависит от влажности и пористости почвы.

Коэффициент теплопроводности с увеличением влажности почвы от 2 до 8% возрастает очень быстро, а затем его рост замедляется (рис. 3.2, а), так как с увеличением влажности теплопроводность почвы приближается к теплопроводности воды, которая меньше теплопроводности минеральных частей почвы.

С увеличением пористости теплопроводность почвы уменьшается (см. рис. 3.2, б), так как теплопроводность твердых частей почвы более чем в 100 раз больше молекулярной теплопроводности воздуха.

При замерзании почвы ее теплопроводность увеличивается, так как теплопроводность льда [ $\lambda = 2,11$  Вт/(м · К)] больше теплопровод-

Таблица 3.1

## Теплофизические характеристики и плотность основных компонентов почв (по де Фризу)

Составные части почвы	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Объемная теплоемкость, кДж/(м <sup>3</sup> · К)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	Коэффициент температуропроводности, м <sup>2</sup> /с
Песок	0,74	2,65 · 10 <sup>3</sup>	2,0 · 10 <sup>3</sup>	8,80	4,40 · 10 <sup>-6</sup>
Большинство почвенных минералов (в среднем)	0,80	2,65 · 10 <sup>3</sup>	2,1 · 10 <sup>3</sup>	2,90	1,40 · 10 <sup>-6</sup>
Органическое вещество (приближенные значения)	2,50	1,10 · 10 <sup>3</sup>	2,7 · 10 <sup>3</sup>	0,25	0,09 · 10 <sup>-6</sup>
Вода	4,20	1,00 · 10 <sup>3</sup>	4,2 · 10 <sup>3</sup>	0,60	0,14 · 10 <sup>-6</sup>
Воздух (при 20 °С)	1,00	1,20	1,20	0,03	21 · 10 <sup>-6</sup>

ности воды почти в 4 раза. Некоторое влияние на теплопроводность почвы оказывает также ее температура, однако этим влиянием можно пренебречь, так как оно значительно слабее влияния влажности. Таким образом, при рассмотрении тепловых свойств почвы в первую очередь необходимо учитывать ее пористость и влажность.

Для оценки быстроты выравнивания температуры различных горизонтов почвы используют понятие «температуропроводность». Мерой температуропроводности почвы служит коэффициент температуропроводности ( $k_T$ ), который характеризует скорость распространения тепла в почве (м<sup>2</sup>/с) и определяется отношением коэффициента теплопроводности  $\lambda$  к ее объемной теплоемкости  $C_{об}$ :

$$k_T = \lambda / C_{об} \quad (3.3)$$

Коэффициент температуропроводности почвы зависит главным образом от соотношения содержания в ней воздуха и воды (см. табл. 3.1). Поскольку температуропроводность воздуха значительно больше ( $k_T = 21 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с), чем воды ( $k_T = 0,14 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с), то сухие почвы быстрее прогреваются и охлаждаются, чем влажные. При малых значениях влажности почвы коэффициент температуропроводности растет быстро, затем по мере увеличения влажности рост замедляется (см. рис. 3.2, а). Это связано с тем, что изменение температуропроводности является результатом совместного изменения теплопроводности и теплоемкости.

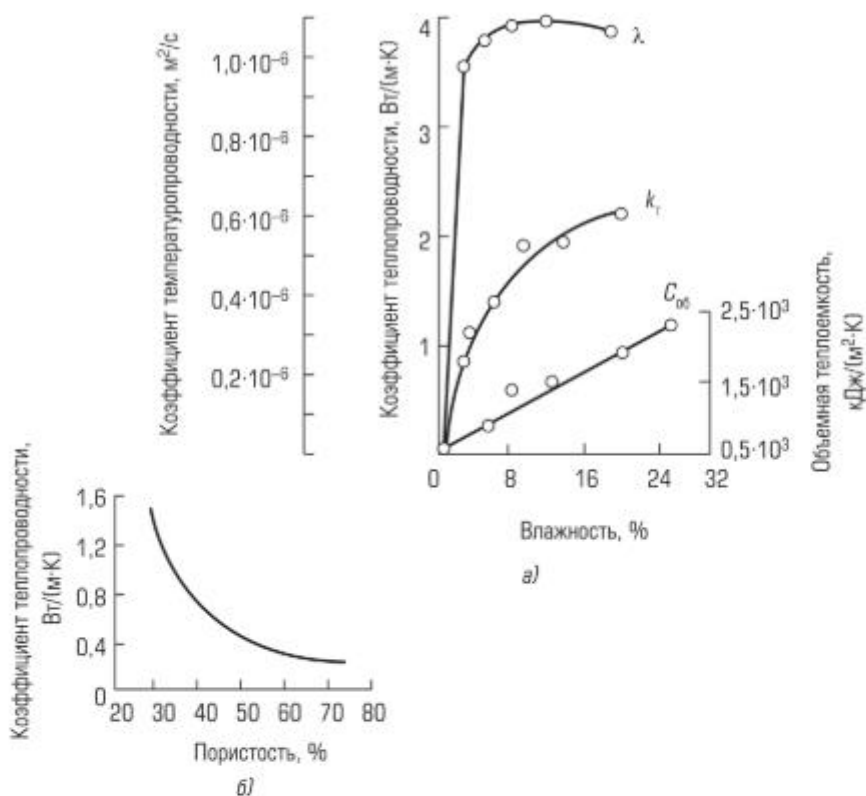


Рис. 3.2. Зависимость теплофизических характеристик почвы от ее влажности (а) и пористости (б) (по А.Ф. Чудновскому и В.З. Богомолову)

Теплофизические характеристики почвы также зависят от ее плотности. С уменьшением плотности теплоемкость и теплопроводность сухих почв снижаются. Поэтому разрыхленные почвы в пахотном слое днем теплее, чем плотные, а ночью холоднее. Кроме того, разрыхленная почва имеет большую удельную поверхность, чем плотная, и поэтому днем поглощает больше радиации, а ночью интенсивнее излучает тепло.

### 3.4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА В ПОЧВЕ

К распространению тепла в почве применима общая теория молекулярной теплопроводности, предложенная в свое время Фурье, и законы распространения тепла в почве носят название законов Фурье.

1. Независимо от типа почвы период колебаний температуры с глубиной не изменяется. Это значит, что как на поверхности почвы,

так и на всех глубинах интервал между двумя последовательными максимумами и минимумами температуры в суточном ходе составляет 24 ч, а в годовом — 12 мес.

2. Возрастание глубины в арифметической прогрессии приводит к уменьшению амплитуды в геометрической прогрессии. Так, если на поверхности суточная амплитуда равна 30 °С, а на глубине 20 см — 5 °С, то на глубине 40 см она будет уже менее 1 °С (рис. 3.3).

На глубине 70...100 см независимо от типа почвы суточная амплитуда практически равна нулю. С этой глубины начинается слой *постоянной суточной температуры*.

Годовые колебания температуры распространяются в глубину с уменьшением амплитуды по тому же закону (рис. 3.4). Амплитуды годовых колебаний убывают почти до нуля на глубине 15...20 м в средних широтах, около 10 м — в южных и 30 м — в полярных широтах.

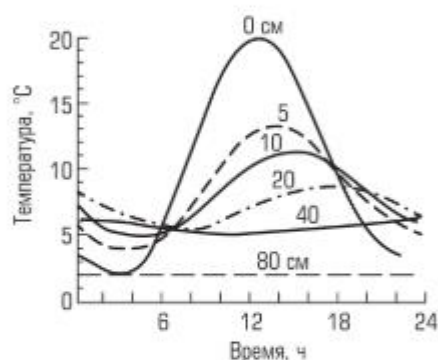


Рис. 3.3. Суточный ход температуры в почве в мае (г. Павловск)

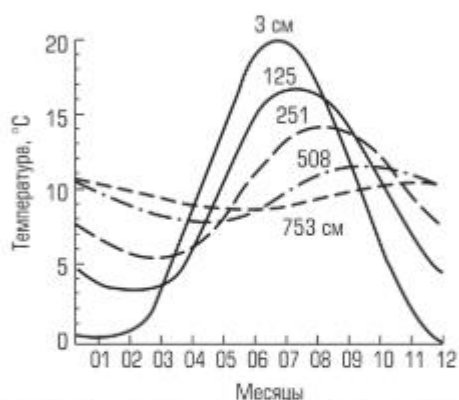


Рис. 3.4. Годовой ход температуры на разных глубинах в почве (г. Калининград)

С этих глубин начинается слой *постоянной годовой температуры*.

Слой почвы (включая растительность), в котором наблюдается суточный и годовой ход температуры, называют *активным*, или *действительным, слоем*.

3. Максимальные и минимальные температуры на глубинах наступают позднее, чем на поверхности, причем запаздывание прямо пропорционально глубинам. Суточные максимумы и минимумы запаздывают на каждые 10 см глубины в среднем на 2,5...3,5 ч, а годовые — на каждый 1 м глубины на 20...30 сут. Например, если в суточном ходе минимальная температура поверхности почвы наступает в 6 ч, а максимальная — в 13 ч, то на глубине 10 см минимальная температура отмечается примерно в 9 ч, а максимальная — около 16 ч.

Наблюдения показывают, что фактическое распространение тепла в почве достаточно близко соответствует этим законам. Усложнения связаны главным образом с неоднородностью состава и структуры почвы на разных глубинах. Кроме того, тепло распространяется в глубь почвы вместе с просачиванием осадков, что, конечно, не подчиняется законам молекулярной теплопередачи.

С особенностями суточного и годового хода температуры на разных глубинах связано распределение температуры почвы по вертикали в различное время суток и года. Различают два типа вертикального распределения температуры почвы: *тип инсоляции* и *тип излучения*. При типе инсоляции температура с глубиной понижается, а при типе излучения — повышается. Тип инсоляции характерен для тех промежутков времени, когда радиационный баланс положителен (днем, летом), а тип излучения характерен для промежутков времени, когда радиационный баланс отрицателен (ночью, зимой).

Распределение температуры в почве в течение года, месяца, суток удобно рассматривать при помощи особых графиков, позволяющих выяснить изменение температуры почвы в зависимости от глубины и времени. Для построения такого графика на вертикальной оси откладывают глубину, а на горизонтальной — время. В точках пересечения, например, месяца и глубины проставляют среднюю месячную температуру. Затем точки с одинаковой температурой, например, через каждый градус или через каждые два градуса соединяют плавными линиями — *термоизоплетами* (рис. 3.5).

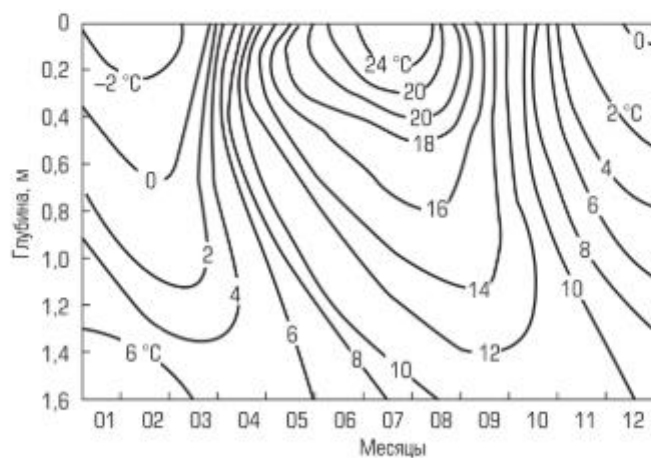


Рис. 3.5. Термоизоплеты годового хода температуры почвы (г. Харьков)

Этот график дает наглядное представление о температуре активного слоя почвы на любой глубине. Перемещение вдоль горизонтальной линии позволяет видеть изменение температуры на данной глубине в течение года, а вдоль вертикальной линии — дает возможность судить о распределении температуры с глубиной в определенном месяце. Таким образом, пользуясь термоизоплетами, можно определить температуру на любой глубине в любое время. Такие графики используют, например, для определения глубины проникновения критических температур, повреждающих корневую систему плодовых деревьев, при мелиорации для определения глубины промерзания, так как мощность мерзлого слоя обязательно надо учитывать при закладывании дрен, труб и т.д.

### 3.5. ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА, РАСТИТЕЛЬНОГО И СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ

Существенное влияние на температуру почвы оказывает рельеф местности: его формы, ориентация склонов и их крутизна. Весной, летом и осенью южные склоны днем теплее, а северные заметно холоднее открытого ровного места, причем микроклиматические различия возрастают с увеличением крутизны склонов (табл. 3.2).

Наименьшие различия в термическом режиме деятельной поверхности на склонах и ровном месте наблюдаются летом, а наибольшие — весной и осенью. Это обусловлено распределением прямой солнечной радиации и радиационного баланса на склонах различной ориентации и крутизны (см. разд. 2.2).

Таблица 3.2

**Дневная температура деятельной поверхности в Московской области на ровном месте, северном и южном склонах разной крутизны (по З.А. Мищенко), °С**

Месяц	Северный склон				Ровное место	Южный склон			
	5°	10°	15°	20°		20°	15°	10°	5°
04	8,3	7,3	6,0	5,5	9,4	12,9	12,2	11,2	10,1
06	23,4	22,8	22,3	22,3	23,6	24,6	24,4	24,0	24,0
09	15,0	14,6	13,4	12,2	16,8	20,8	19,6	18,4	17,5

Наличие растительного покрова на поверхности почвы также оказывает заметное влияние на ее тепловой режим. Растительный покров затеняет земную поверхность, в результате чего почва в дневные часы под действием солнечной радиации нагревается меньше. В ночные часы растительный покров уменьшает охлаждение поверхности

почвы, задерживая тепло, отдаваемое ею излучением. В целом же почва под растительным покровом летом холоднее, чем оголенная. Кроме того, при наличии растительного покрова отмечается увеличение испарения воды, а следовательно, уменьшение влажности почвы и, как следствие этого, уменьшение теплоемкости и теплопроводности почвы.

Особенно сильно на тепловой режим почвы влияет снежный покров. Теплопроводность снега очень мала, что приводит к значительному ослаблению теплообмена между почвой и атмосферой. Благодаря этому снежный покров предохраняет почву от глубокого промерзания и резких изменений температуры. Поэтому глубина промерзания почвы уменьшается с увеличением высоты снежного покрова (Барнаульская агрометеостанция, А.М. Шульгин):

Высота снежного покрова, см	8	12	34	52
Глубина промерзания почвы, см	150	120	91	75

Защитное действие снега особенно важно для озимых, многолетних трав, плодовых и ягодных культур. При снежном покрове высотой более 30 см посевы озимых не вымерзают даже при сильных морозах. Температура почвы на глубине 3 см (узел кущения озимых) в зависимости от высоты снежного покрова изменяется в больших пределах.

Далее приведена средняя из абсолютных минимумов температура почвы на глубине 3 см (Барнаульская агрометеостанция, А.М. Шульгин):

Высота снежного покрова, см	Температура, °С
0	-14,4
10...30	-10,1
30...50	-6,7

Если в зимний период снежный покров оказывает на почву согревающее действие, то в весенние месяцы он затрудняет прогревание почвы, экранируя ее от солнечной радиации и забирая много тепла на таяние. В результате весной почва под снегом имеет более низкую температуру, чем оголенная.

### 3.6. ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВЫ. ВЕЧНАЯ (МНОГОЛЕТНЯЯ) МЕРЗЛОТА

Почвенная влага содержит соли, поэтому она замерзает не при 0 °С, а при -0,5...-1,5 °С. Промерзание почвы начинается с верхних слоев и в течение зимы распространяется вглубь.

Глубину промерзания почвы обуславливают:

- суровость и продолжительность зимы;



- высота снежного покрова (например, на Южном Урале, где зимы суровые и продолжительные, а высота снежного покрова мала, глубина промерзания почвы в среднем составляет 2,5 м, тогда как в Подмоскovie почва обычно промерзает до 1 м);
- растительный покров: на оголенных участках почва промерзает глубже, чем, например, в саду;
- влажность почвы: сухие почвы промерзают более глубоко, чем увлажненные, так как последние имеют большую теплоемкость, кроме того, при замерзании воды выделяется тепло.

Весной промерзший слой почвы оттаивает сверху под влиянием прогрева поверхности, а также и снизу за счет прихода тепла от нижележащих слоев.

В Северном полушарии имеются обширные районы, где почва даже летом не оттаивает полностью. Вечная мерзлота охватывает значительную часть Канады, почти всю Аляску и Гренландию, а в России она занимает более половины территории, распространяясь от Кольского полуострова до Дальнего Востока. На юг вечная мерзлота особенно далеко распространяется в Забайкалье (рис. 3.6). Южная граница вечной мерзлоты в основном совпадает с изотермой средней годовой температуры воздуха  $-2^{\circ}\text{C}$ . Мощность слоя вечной мерзлоты колеблется от 1...2 м до нескольких сотен. Например, в Якутии она достигает 500 м и более, в Забайкалье — 70...90 м.

Летом верхние слои почвы в северных районах вечной мерзлоты оттаивают на глубину нескольких десятков сантиметров, а в южной части — на 10...15 м и более. На оттаявших почвах даже в Якутии можно возделывать овощные и некоторые зерновые культуры, корневая система которых располагается в верхних, наиболее прогретых слоях почвы. Летом здесь выпадает мало осадков, но влаги в почве растениям достаточно, так как слой мерзлоты препятствует просачиванию талых вод. Этим же объясняется заболоченность тундры. В Восточной Сибири в области вечной мерзлоты хорошо растут и деревья. Однако мерзлый грунт препятствует росту корней вглубь, корневая система деревьев распространяется только в слое, который оттаивает летом, поэтому здесь при сильных ветрах часто наблюдаются ветровалы.

Причина образования вечной мерзлоты точно неизвестна. Некоторые исследователи считают, что это явление — наследие ледникового периода. Такая мерзлота располагается в арктической зоне и на северо-востоке Сибири. В ней находят трупы ископаемых млекопитающих. В других же районах, по мнению А.И. Воейкова, В.Б. Шостаковича и др., вечная мерзлота появилась позднее и является результатом современных климатических условий, главным образом суровых малоснежных зим. В такой мерзлоте трупов ископаемых млекопитающих нет.

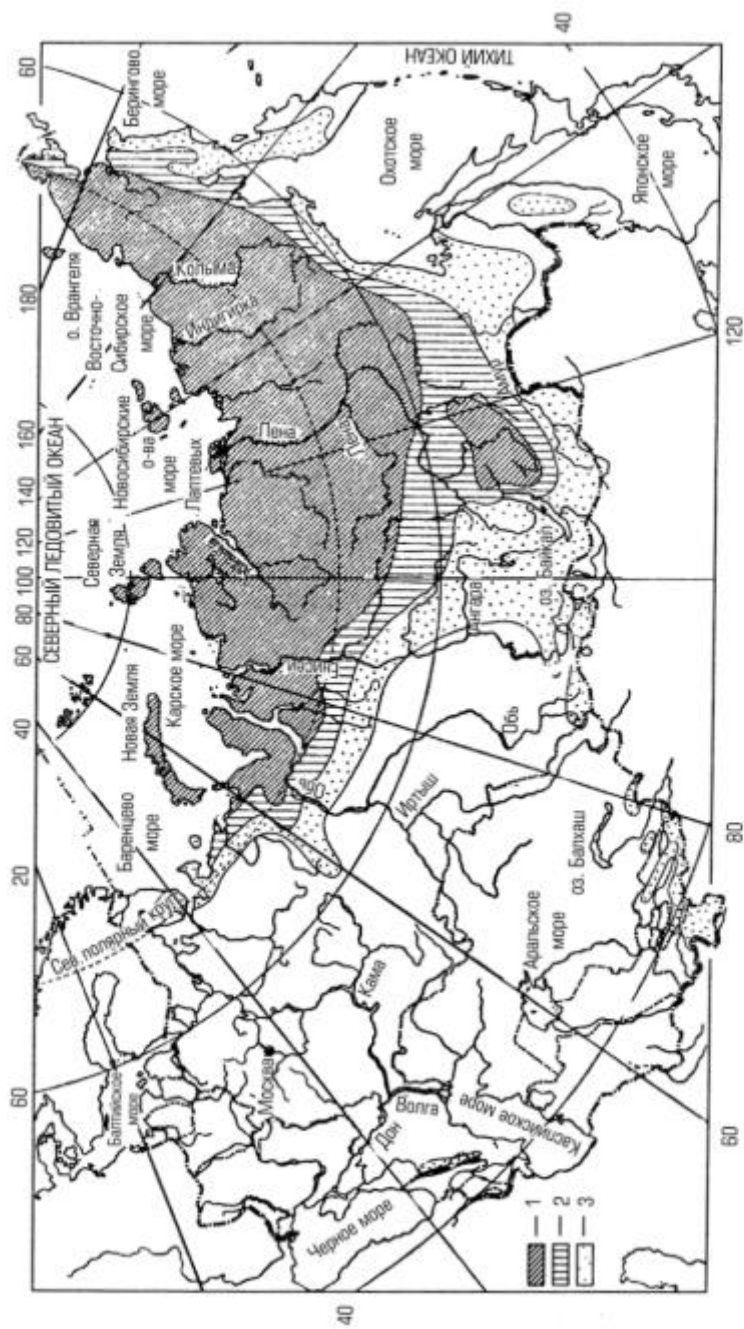


Рис. 3.6. Распространение вечной (многолетней) мерзлоты на территории России (по Б.П. Алисову):  
 1 — зона преимущественно сплошного распространения вечной мерзлоты; 2 — зона прерывистого распространения вечной мерзлоты;  
 3 — зона островного распространения вечной мерзлоты

Вечная мерзлота оказывает большое влияние на хозяйственную деятельность человека. Она создает значительные препятствия для производства земляных работ, различных построек и т.д. Для промышленного и сельскохозяйственного строительства в районах вечной мерзлоты разработана специальная технология.

### **3.7. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВЫ**

Для измерения температуры почвы применяют жидкостные (ртутные, спиртовые, толуоловые), термоэлектрические, электротермометры сопротивления и деформационные термометры.

*Срочный термометр* ТМ-3, ртутный, используют для измерения температуры поверхности почвы в данный момент (срок).

*Максимальный термометр* ТМ-1, ртутный, служит для измерения наивысшей температуры поверхности за период между сроками наблюдений.

Максимальный термометр отличается от срочного тем, что в канал капилляра непосредственно около резервуара входит тонкий штифтик, впаянный в дно резервуара (рис. 3.7, I, а). В результате этого при понижении температуры в месте сужения происходит разрыв ртути, и таким образом фиксируется максимальное значение температуры за промежуток времени между измерениями.

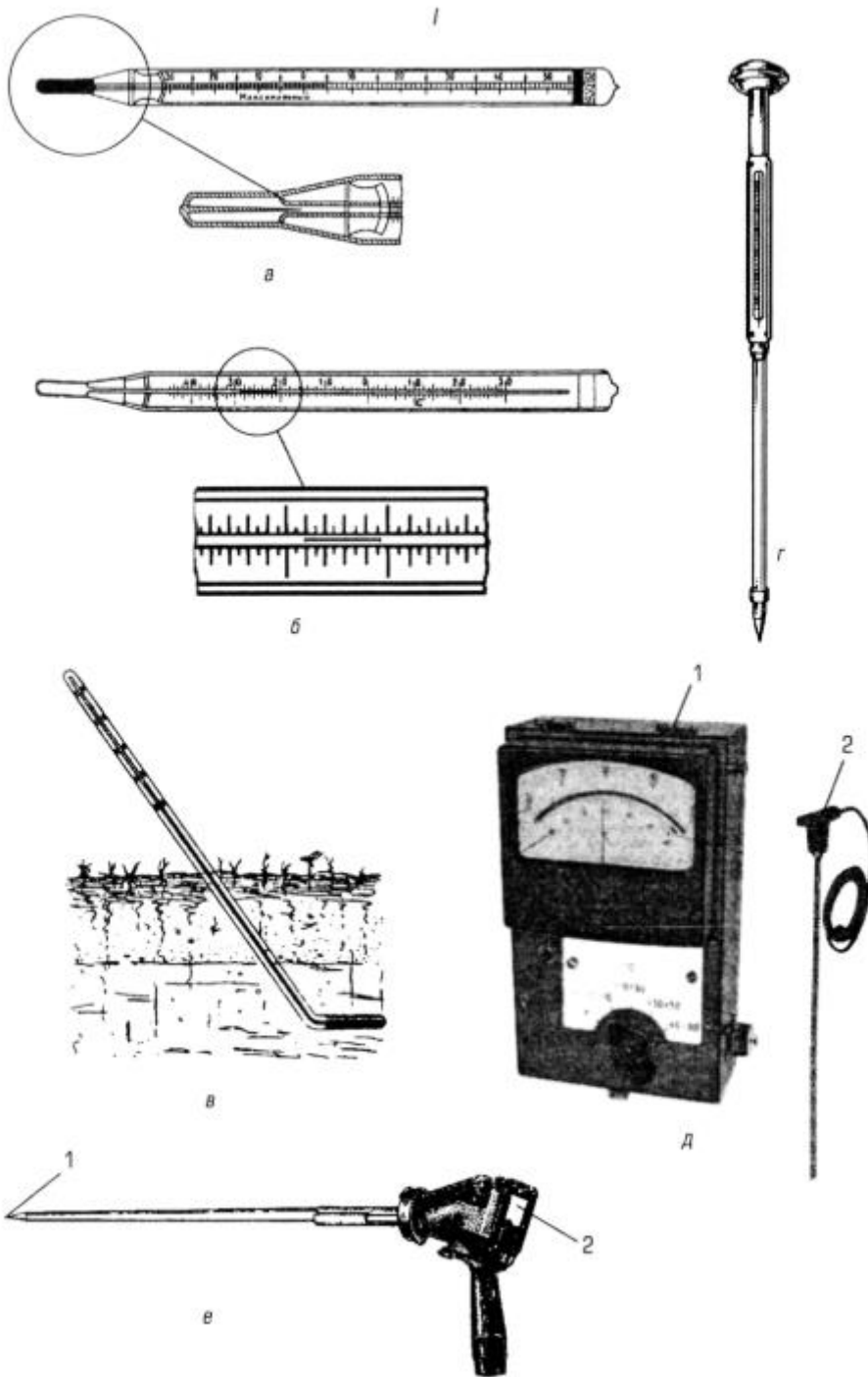
*Минимальный термометр* ТМ-2, спиртовой, применяют для измерения самой низкой температуры поверхности почвы за период между сроками наблюдений. Особенность устройства этого термометра заключается в том, что внутрь капилляра закладывается маленький из темного стекла штифтик (см. рис. 3.7, I, б).

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

*Коленчатые термометры* (Савинова) ТМ-5, ртутные, предназначены для измерения температуры почвы в теплый период на глубинах 5, 10, 15 и 20 см (см. рис. 3.7, I, в).

*Термометр-щуп* АМ-6, толуоловый, используют для походных измерений температуры почвы на глубинах 3...40 см (см. рис. 3.7, I, г).

*Транзисторный электротермометр* ТЭТ-2 применяют для измерения температуры пахотного слоя в теплый период (см. рис. 3.7, I, д). Им можно измерять и температуру в буртах корнеплодов, картофеля, в зерновой массе в засеках. На базе этого термометра был разработан электронный транзисторный цифровой термометр ТЭТ-Ц11, с по-



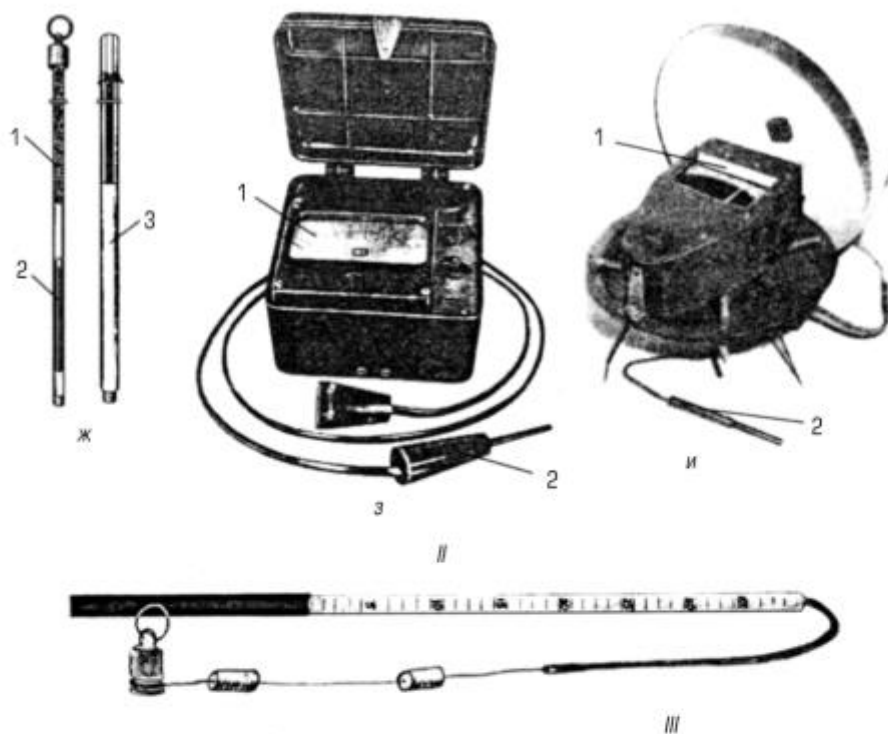


Рис. 3.7. Приборы для измерения температуры и глубины промерзания:  
 I — термометры: а — максимальный ТМ-1; б — минимальный ТМ-2;  
 в — коленчатый ТМ-5; г — щуп АМ-6;  
 д — ТЭТ-2: 1 — пульт; 2 — датчик (термотранзистор); е — трость агронома ПИТТ-1: 1 — датчик, 2 — потенциометр, ж — вытяжной ТПВ-50:  
 I — деревянный шест, 2 — термометр; 3 — эбонитовая трубка; з — сопротивление АМ-2М-1: 1 — пульт, 2 — датчик;  
 и — максимально-минимальный АМ-17:  
 1 — пульт, 2 — датчик (термобаллон);  
 II — мерзлотомер АМ-21;  
 III — сопоставление температурных шкал Фаренгейта, Цельсия и Кельвина

°F	°C	K
212	100	372
194	90	363
176	80	353
158	70	343
140	60	333
122	50	323
104	40	313
86	30	303
68	20	293
50	10	283
32	0	273
14	-10	263
-4	-20	253
-22	-30	243
-40	-40	233
-58	-50	223
-76	-60	213

Точка кипения воды

$$\begin{aligned} ^\circ\text{C} &= 5/9(^{\circ}\text{F} - 32) \\ ^\circ\text{F} &= 9/5^{\circ}\text{C} + 32 \\ \text{K} &= ^\circ\text{C} + 273 \\ ^\circ\text{C} &= \text{K} - 273 \end{aligned}$$

Точка таяния льда

мощью которого можно измерять температуру на глубине залегания узла кушения озимых культур и корневой шейки многолетних трав. Новая модель этого термометра — электронно-цифровой АМТ-2.

*Трость агронома* ПИТТ-1 предназначен для измерения температуры пахотного слоя и замера глубины вспашки (см. рис. 3.7, I, e). Принцип его действия основан на измерении омического сопротивления в зависимости от температуры.

*Вытяжные термометры* ТПВ-50, ртутные, служат для измерений температуры почвы на глубинах 20...320 см в течение года (см. рис. 3.7, I, ж). Их можно также использовать в хозяйствах для измерения температуры в буртах, силосных ямах и т.п.

Вместо коленчатых и вытяжных термометров на станциях часто применяют дистанционные электрические термометры, позволяющие измерять температуру почвы на разных глубинах непосредственно из служебного помещения.

*Электротермометр сопротивления* АМ-2М-1 (см. рис. 3.7, I, з) предназначен для измерения срочной температуры почвы на глубине узла кушения.

*Максимально-минимальный термометр* АМ-17, толуоловый, служит для измерения экстремальных и срочных температур на глубине узла кушения (3 см) озимых культур (рис. 3.7, I, и). Принцип действия термометра основан на термическом изменении объема рабочей жидкости. В настоящее время на некоторых станциях используют новый термометр АМ-34. Он состоит из датчика температуры и пульта считывания информации, т.е. является автоматизированным средством измерения температуры.

Кроме того, есть методы бесконтактного определения температуры поверхности почвы со спутников, самолетов и вертолетов, позволяющие получать осредненные значения температуры для значительных участков земной поверхности.

*Мерзлотомер* АМ-21 (см. рис. 3.7, II) применяют для измерения глубины промерзания почвы. Этот прибор состоит из эбонитовой трубки, на верхней части которой нанесены деления в сантиметрах для определения высоты снежного покрова. В эту трубку помещают резиновую трубку с делениями через 1 см, заполненную дистиллированной водой.

Температуру по Международной практической шкале измеряют в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Градус по этой шкале составляет 1/100 интервала между точками таяния льда ( $0^{\circ}\text{C}$ ) и кипения воды ( $100^{\circ}\text{C}$ ) (см. рис. 3.7, III).

В США чаще пользуются шкалой Фаренгейта (F). На этой шкале точке таяния льда соответствует температура  $32^{\circ}\text{F}$ , а точке кипения воды — температура  $212^{\circ}\text{F}$ . Интервал между этими точками разделен

на 180 делений, т.е. градусов. Поэтому каждый градус шкалы Фаренгейта составляет лишь  $5/9$  градуса шкалы Цельсия.

В термодинамической температурной шкале температура измеряется в градусах Кельвина (К). У этой шкалы за нуль принята такая температура, при которой прекращается тепловое движение молекул ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), т.е. тело не содержит никакого тепла. Точке таяния льда на ней соответствует температура 273 К, а точке кипения воды — температура 373 К. Эта единица Международной практической температурной шкалы является одной из основных единиц СИ.

От одной температурной шкалы к другой переходят с помощью соотношений, приведенных на рис. 3.7, III.

### 3.8. ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ ДЛЯ РАСТЕНИЙ

Температура почвы является одним из важнейших факторов жизни растения. Прорастание семян, развитие корневой системы, жизнедеятельность почвенной микрофлоры, усвоение корнями продуктов минерального питания и др. в большой степени зависят от температуры почвы. С повышением температуры почвы все эти процессы активизируются. Значительное понижение температуры почвы приводит к гибели посевов озимых зерновых культур, многолетних трав и плодовых деревьев.

Семена большинства сельскохозяйственных культур в средней полосе прорастают при температуре  $3...5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а такие, как рис, хлопчатник и др., требуют значительно более высоких температур —  $13...15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (табл. 3.3).

Таблица 3.3

**Биологический минимум и максимум температур прорастания семян различных сельскохозяйственных культур,  $^{\circ}\text{C}$**

Культура	Минимум	Максимум
Ячмень, овес, рожь, пшеница	0...5	31...37
Редис	2...3	30...35
Горох	2...4	30
Гречиха	5	37...44
Подсолнечник	5...7	37...41
Картофель	7...8	30
Кукуруза	8...10	44...50
Капуста	10	30...35
Рис	10...12	40
Томаты, баклажаны, перец	12...15	35
Хлопчатник, тыква	13...15	44...50
Дыня, огурец	15...18	44...50

С повышением температуры почвы до оптимальной скорость прорастания семян возрастает, что обуславливает сокращение продолжительности периода от посева до появления всходов. Например, семена кукурузы при заделке их в увлажненную почву на глубину 4 см при температуре 12 °С дают всходы через 21 день, а при температуре 18 °С — через 8...9 дней.

Температурный режим почвы непосредственно влияет на скорость роста корневой системы. При пониженных и повышенных температурах показатели роста у большинства культур ухудшаются (табл. 3.4).

Таблица 3.4

**Скорость роста корней пшеницы в зависимости от температуры (по Бурстрему)**

Показатель роста	Температура почвы, °С				
	7	15	20	26	33
Прирост, мм	11,8	23,1	23,7	32,3	1,0
Увеличение сырой массы, мг	81	120	121	140	1,9
Число клеток, образовавшихся вдоль корневого стержня	57	88	173	257	—

В то же время озимые культуры укореняются лучше при сравнительно низких (6...10 °С) температурах.

После появления всходов температура почвы не теряет своего значения для растений. Они лучше растут и развиваются, если их корни находятся в среде с несколько пониженной (на 5...10 °С) температурой по сравнению с надземными органами.

Температура почвы оказывает большое влияние на жизнедеятельность микроорганизмов и, следовательно, на обеспеченность растений элементами минерального питания, скорость разложения органического вещества, синтез гуминовых веществ и т.д.

Температурный режим определяет накопление подвижных питательных веществ в почве. Воздействуя на скорость движения воды и растворимых солей, температура влияет на темпы поступления питательных веществ в растения из почвы и внесенных удобрений. При невысоких температурах (8...10 °С) снижается, например, поступление в корни и передвижение из корней в надземные органы азота, ослабляется его расход на образование органических азотных соединений. При более низких температурах (5...6 °С и ниже) поглощение корнями азота и фосфора резко уменьшается. Снижается при этом и поглощение калия.

Тесно связаны с температурным режимом почвы также распространение и вредоносность болезней и вредителей сельскохозяй-



ственных растений. У ряда теплолюбивых культур (кукуруза, хлопчатник) болезни проростков и повреждение семян плесенью проявляются при низких температурах (в холодные вёсны), когда термические условия неблагоприятны для растений.

Вредители растений, личинки которых находятся в почве, в зависимости от температуры могут нанести больший или меньший вред. Например, проволочники (личинки жука шелкоуна) при невысокой температуре почвы поднимаются в ее верхние слои и повреждают семена, проростки и корни кукурузы. При повышении температуры проволочники уходят в нижние, менее прогретые горизонты почвы. При температуре верхнего слоя почвы 10...12 °С появляются свекловичный долгоносик, капустная муха, малинный жук, а при 14...15 °С – майский хрущ.

Повышение температуры изменяет ряд свойств воды, например вязкость и поверхностное натяжение, что увеличивает ее подвижность. При резком понижении температуры почвы происходит конденсация водяных паров на поверхности почвы или на границе рыхлого и плотного ее слоев. Понижение температуры почвенной влаги приводит к повышению растворимости газов – углекислоты и кислорода. Колебания температуры почвы улучшают газообмен в почве и состав почвенного воздуха. При пониженной температуре некоторые растения меньше усваивают азота, фосфора и калия. Промораживание почвы вызывает значительные изменения ее физико-химических свойств.

### **3.9. МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ**

В целях оптимизации температурного режима в сельскохозяйственном производстве проводят ряд мероприятий. В северных районах страны они направлены на повышение температуры почвы и максимальное использование зоны многолетней мерзлоты. В южных районах, где избыточное количество тепла угнетает растения, применяют агротехнические приемы, направленные на понижение температуры поверхности и пахотного слоя почвы.

Приемы активного влияния на тепловой режим почвы можно разделить на агротехнические, агрометеорологические, агрометеорологические, технические.

К *агротехническим*, изменяющим температурный режим почвы, относятся следующие приемы обработки почвы: глубокое рыхление, гребневание, прикатывание и др. В условиях недостатка тепла температуру почвы повышают, создавая гребни и гряды. При этом площадь деятельной поверхности увеличивается на 20...25%, вследствие чего на протяжении длинного дня в северных районах поглощается

больше тепла. Одновременно снижается влажность почвы. В результате на гребне дневная температура почвы на 3...5 °С выше, чем на выровненных участках.

Прикатывание поверхности поля также повышает на 3...5 °С температуру пахотного слоя почвы. Это объясняется более высокой теплопроводностью уплотненного слоя.

Температуру почвы можно регулировать и мульчированием, т.е. покрывая ее различными материалами: торфом, соломой, полиэтиленовыми и полиамидными пленками и другими материалами, меняющими альбедо и излучение поверхности почвы, уменьшающими теплообмен между воздухом и почвой. В зависимости от цвета мульчи температура поверхности почвы может повышаться или понижаться на 4...7 °С.

Применение в качестве мульчирующего покрытия прозрачных пленок способствует более интенсивному нагреванию почвы по сравнению с темными пленками. Это происходит потому, что прозрачные пленки пропускают видимую часть спектра, а темные — нет.

Эффективный агротехнический прием — снегозадержание, поскольку, как отмечалось ранее (см. разд. 3.5), снежный покров оказывает большое влияние на тепловой режим почвы.

К *агромелиоративным* приемам, влияющим на тепловой режим почвы, относят орошение и осушение почвы. Например, на юге температура поверхности почвы на орошаемых полях понижается на 15...30 °С, на глубине 10 см — на 5...7, а на глубине 20 см — на 2...3 °С по сравнению с богарными. Это связано с увеличением затрат тепла на испарение и изменением теплофизических характеристик почвы. Орошение увеличивает теплоемкость и теплопроводность почвы, что способствует более равномерному ее прогреву на большую глубину и уменьшению температурных колебаний.

При осушении, наоборот, температура верхних слоев почвы в летние месяцы повышается.

К простейшим *агрометеорологическим* приемам изменения теплового режима относятся посадка полезащитных лесных насаждений, создание дымовых завес и др.

Метеорологический эффект лесных полос многоплановый: они влияют и на ветер, и на температуру воздуха, и на влажность почвы, способствуют накоплению снега на полях и т.д. При этом последние два фактора непосредственно воздействуют на температурный режим почвы.

Дымовые завесы уменьшают эффективное излучение деятельной поверхности и тем самым предотвращают, например, радиационные заморозки или уменьшают их интенсивность.

В районах вечной мерзлоты для повышения температуры верхнего слоя почвы разработана специальная технология: снятие дер-

нины и торфяного покрова, которые являются теплоизолирующими прослойками. В результате температура почвы в среднем за теплый период увеличивается на 2...3 °С.

Необходимо отметить, что все эти способы обладают весьма ограниченной термической эффективностью, не превышающей в среднем 3...5 °С. Причем при резких изменениях температуры они не могут обеспечить регулирование теплового режима в требуемых пределах.

*Технические* тепломелиоративные приемы более эффективны. Например, тепловая зарядка почвы с помощью периодически действующего источника: стационарного теплогенератора или передвижного отопительного агрегата, работающих в повторно-кратковременном режиме. Эксперименты показали, что процесс тепловой зарядки идет весьма интенсивно и, по данным Д.И. Куртенера и И.Б. Ускова, на десятый день термический эффект в слое 0...30 см составлял около 16 °С.

Другая идея этого метода — использование специальных термосифонных устройств, разработанных в Агрофизическом институте. Известно, что в зимне-весенний период на глубине температура выше, чем на поверхности и в воздухе (табл. 3.5).

Таблица 3.5

**Среднемесячная температура почвы на разных глубинах в зимне-весенний период (Ленинградская область), °С**

Глубина, м	Месяц				
	12	01	02	03	04
0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	0,8
0,8	2,9	2	1,5	1,1	1,2
1,6	4,9	3,8	3,2	2,7	2,4
3,2	6,7	5,7	5	4,5	4,1

Сифон представляет собой цилиндр специальной конструкции, заполненный жидким теплоносителем. Его заглубляют в почву, за счет разности температур на противоположных концах сифона в нем возникает конвективное движение жидкости. Есть модели термосифонов для обогрева стволов и развилок скелетных ветвей плодовых деревьев. Испытания, проведенные в Ленинградской области, показали, что при понижении температуры контрольного ствола до -23 °С ствол, защищенный сифоном, имел температуру -9 °С. Интересно, что подобные сифоны остаются на постоянном месте до 10...12 лет, не мешая росту ствола и ветвей.

За рубежом достаточно широко применяют внутрипочвенный водяной обогрев, причем почв открытого грунта. Для этого в почву на глубину 0,5 м укладывают стальные или пластмассовые трубы диаметром 2,5 см. Это позволяет получать более ранние и более высокие урожаи таких культур, как сахарная свекла, озимая пшеница, зерновая кукуруза и др. Энергетической базой для этого служат отходы атомных и тепловых электростанций.

Умелое регулирование теплового режима почвы способствует воспроизводству почвенного плодородия и существенно повышает урожайность сельскохозяйственных культур.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое тепловой баланс и как записывается его уравнение?
2. Какие изменения в тепловом балансе происходят при орошении, при осушении?
3. Как изменяется температура поверхности почвы в течение суток (года)? Представьте графически ход температуры.
4. Какие факторы и как влияют на амплитуду суточного (годового) хода температуры?
5. Что такое теплоемкость и теплопроводность почвы? Назовите факторы, от которых они зависят.
6. Каким закономерностям подчиняется распределение тепла в почве в течение суток (года)? Представьте это графически.
7. Какие факторы и как влияют на температурный режим почвы?
8. Почему необходим учет температуры почвы в практике сельского хозяйства?
9. Перечислите методы регулирования температурного режима почвы.
10. Расскажите, как измеряют температуру и глубину промерзания почвы.

**4.1. ПРОЦЕССЫ НАГРЕВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА**

*Тепловым режимом атмосферы* называют характер распределения и изменения температуры в атмосфере. Тепловой режим атмосферы определяется главным образом ее теплообменом с окружающей средой, т.е. с деятельной поверхностью и космическим пространством.

За исключением верхних слоев атмосфера поглощает солнечную энергию сравнительно слабо (см. разд. 2.2). Основной источник нагревания нижних слоев атмосферы — тепло, получаемое ими от деятельной поверхности. В дневные часы, когда приход радиации преобладает над расходом, деятельная поверхность нагревается, становится теплее воздуха и тепло передается от нее воздуху. Ночью деятельная поверхность теряет тепло излучением и становится холоднее воздуха. В этом случае воздух отдает тепло почве, в результате чего сам он охлаждается. Перенос тепла между деятельной поверхностью и атмосферой, а также в самой атмосфере осуществляется следующими процессами.

**Молекулярная теплопроводность.** Воздух, непосредственно соприкасающийся с деятельной поверхностью, обменивается с ней теплом посредством молекулярной теплопроводности. Вследствие того что коэффициент молекулярной теплопроводности неподвижного воздуха сравнительно мал, этот вид теплообмена незначителен.

**Турбулентная теплопроводность.** Она возникает внутри атмосферы вследствие вихревого, хаотического движения воздуха, т.е. турбулентности. Ее условно можно разделить на динамическую и термическую.

*Динамическая турбулентность* — вихревое хаотическое движение, возникающее в результате появления силы трения как между отдельными слоями перемещающегося воздуха, так и между движущимся воздухом и подстилающей поверхностью.

Чем больше скорость ветра и шероховатость поверхности, тем большая завихренность потока воздуха.

*Термическая турбулентность*, или *тепловая конвекция*, — упорядоченный перенос отдельных объемов воздуха в вертикальном направлении, возникающий при неравномерном нагревании различных участков поверхности. Над более прогретыми участками воздух становится теплее, а следовательно, легче окружающего и поднимается вверх. Его место занимает более холодный соседний воздух, который в свою очередь нагревается и тоже поднимается.

Над сушей тепловая конвекция развивается днем и летом, а над морем — ночью и зимой, когда водная поверхность теплее прилегающих слоев атмосферы.

Постоянное беспорядочное перемешивание воздуха в процессе турбулентности способствует очень быстрой передаче тепла между деятельной поверхностью и воздухом.

**Радиационная теплопроводность.** Определенную роль в передаче тепла от почвы к атмосфере играет излучение деятельной поверхностью длинноволновой радиации, поглощаемой нижними слоями атмосферы. Последние, нагреваясь, таким же способом последовательно передают тепло вышележащим слоям. В период охлаждения поверхности радиационный поток тепла направлен от вышележащих слоев атмосферы вниз. Радиационный поток тепла над сушей проявляется главным образом в ночные часы, когда турбулентность резко ослаблена, а тепловая конвекция отсутствует.

**Конденсация (сублимация) водяного пара.** Тепло, выделяемое при переходе водяного пара в жидкое или твердое состояние, нагревает окружающий воздух, особенно слои атмосферы, где образуются облака.

#### 4.2. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Изменения температуры приземного слоя воздуха в течение суток и года обусловлены периодическими колебаниями температуры подстилающей поверхности и наиболее четко выражены в его нижних слоях.

В суточном ходе кривая имеет по одному максимуму и минимуму (рис. 4.1). Минимальное значение температуры наблюдается, как и на почве, перед восходом Солнца. Затем она непрерывно повышается, достигая наибольших значений несколько позже, чем на почве, — в 14...15 ч, после чего начинает снижаться до восхода Солнца.

Амплитуда температурных колебаний — важная характеристика погоды и климата, зависящая от ряда условий.

С *увеличением широты* уменьшается полуденная высота Солнца над горизонтом. Вследствие этого по мере продвижения в более высокие широты амплитуда суточных колебаний понижается: в тропических широтах она составляет около 12 °С, в умеренных областях — 8...9, у Полярного круга — 3...4, в Заполярье — 1...2 °С (см. рис. 4.1).

Амплитуда суточных колебаний температуры воздуха зависит от *погодных условий*. В ясную погоду амплитуда больше, чем в пасмурную, так как облака днем задерживают солнечную радиацию, а ночью уменьшают потерю тепла земной поверхностью путем излучения (рис. 4.2).

Амплитуда зависит также от *времени года*. В зимние месяцы при малой высоте Солнца в средних широтах она понижается до 2...3 °С.

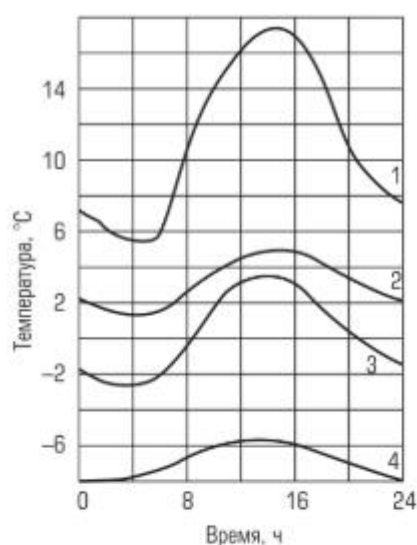


Рис. 4.1. Суточный ход температуры воздуха (в среднем за год) на разных широтах:

- 1 — Нукус ( $\varphi = 42^\circ$  с.ш.);
- 2 — Санкт-Петербург ( $\varphi = 60^\circ$  с.ш.);
- 3 — Екатеринбург ( $\varphi = 58^\circ$  с.ш.);
- 4 — Мелкая Губа (Заполярье,  $\varphi = 74^\circ$  с.ш.)

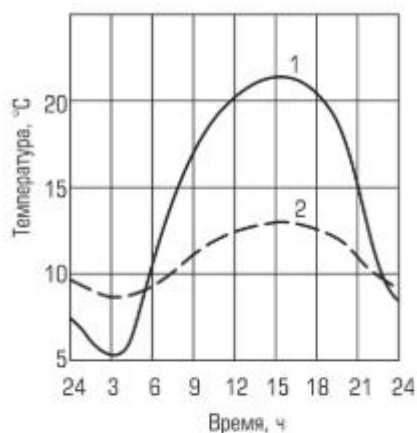


Рис. 4.2. Суточный ход температуры воздуха в ясные (1) и пасмурные (2) дни в июне в г. Павловске

Большое влияние на суточный ход температуры воздуха оказывает рельеф: на выпуклых формах рельефа (на вершинах и склонах гор и холмов) амплитуда суточных колебаний меньше, а в вогнутых (ложбины, долины, котловины) больше по сравнению с равнинной местностью. Это обусловлено тем, что площадь соприкосновения воздуха с подстилающей поверхностью на выпуклых формах рельефа меньше и он быстро сдувается с нее, заменяясь новыми массами. В вогнутых же формах рельефа при ослабленном ветровом режиме воздух сильнее нагревается от поверхности в дневные часы и больше охлаждается ночью. Кроме того, ночью в долины стекает холодный воздух со склонов. Разность в температурах воздуха ночью на дне долин и на склонах может достигать до  $10^\circ\text{C}$  и более.

На значение амплитуды влияют и *физические свойства почвы*: чем больше суточный ход на самой поверхности почвы, тем больше суточная амплитуда температуры воздуха над ней.

Суточная амплитуда уменьшается *на побережьях крупных бассейнов*, что видно на рис. 4.1, где представлен суточный ход температуры в среднем за год в районе Санкт-Петербурга и Екатеринбурга, расположенных практически на одной широте.

*Растительный покров* уменьшает амплитуду суточных колебаний температуры воздуха среди растений, так как днем он задерживает солнечную радиацию, а ночью — земное излучение.

При наличии растительности зона наибольшего нагревания днем и наибольшего охлаждения ночью располагается на некоторой высоте над поверхностью почвы в зависимости от высоты растительного покрова и его густоты (см. рис. 4.4).

Особенности суточного хода температуры воздуха следует учитывать при размещении культурных растений, выбирая для наиболее теплолюбивых культур те формы рельефа, которые обуславливают меньшую амплитуду хода температуры воздуха и почвы и, следовательно, менее заморозкоопасны.

Характеристикой годового хода температуры воздуха служит *амплитуда годовых колебаний температуры воздуха*. Она представляет собой разность между средними месячными температурами воздуха самого теплого и самого холодного месяцев в году.

*Годовой ход температуры воздуха* в разных географических зонах различен в зависимости от широты и континентальности местоположения. По средней многолетней амплитуде и по времени наступления экстремальных температур выделяют четыре типа годового хода температуры воздуха (рис. 4.3).

**Экваториальный тип.** В экваториальной зоне в году наблюдают два слабовыраженных максимума температуры — после весеннего (21.03) и осеннего (23.09) равноденствия, когда Солнце находится в зените, и два минимума — после зимнего (22.12) и летнего (22.06) солнцестояния, когда Солнце находится на наименьшей высоте. Амплитуды годового хода здесь небольшие, что объясняется малым изменением притока тепла в течение года. Над континентами амплитуды составляют 5...10 °С, а над океанами — около 1 °С.

**Тропический тип.** В тропических широтах наблюдают простой годовой ход температуры воздуха с максимумом после летнего и минимумом после зимнего солнцестояния. Амплитуды годового хода по мере удаления от экватора возрастают с увеличением различия между притоком тепла летом и зимой. Средняя амплитуда годового хода над материками составляет 10...20 °С, над океанами — 5...10 °С.

**Тип умеренного пояса.** Минимальные и максимальные значения температуры отмечаются после солнцестояний. Причем над материками Северного полушария максимальная среднемесячная температура отмечается в июле, над морями и побережьями — в августе. Годовые амплитуды над океанами и побережьями в среднем составляют 10...15 °С, над материками — 40...50, а в Азии достигают 60 °С.

**Полярный тип.** Минимум температуры в годовом ходе вследствие полярной ночи сдвигается на время появления Солнца над горизонтом (в Северном полушарии это февраль—март). Максимум темпе-



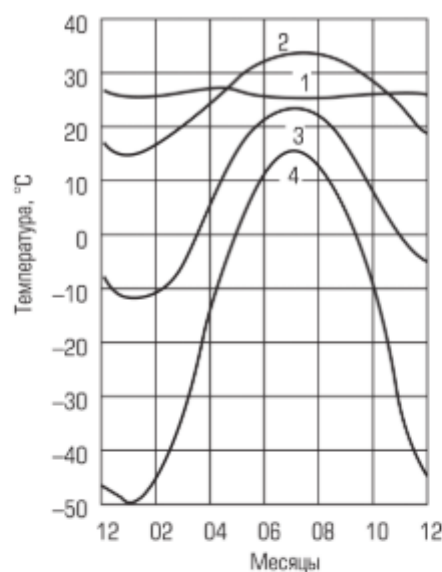


Рис. 4.3. Типы годового хода температуры воздуха:

1 — экваториальный (Джакарта,  $\varphi = 6^\circ$  ю.ш.); 2 — тропический (Асуан,  $\varphi = 24^\circ$  с.ш.); 3 — умеренного пояса (Саратов,  $\varphi = 52^\circ$  с.ш.); 4 — полярный (Верхоянск,  $\varphi = 67^\circ$  с.ш.)

ратуры в Северном полушарии наблюдается в июле. Амплитуда годового хода температуры на суше (Гренландия, Антарктида) составляет  $30\text{--}40^\circ\text{C}$ , на побережьях —  $20^\circ\text{C}$  и более.

На годовой ход температуры воздуха оказывает влияние также *высота места над уровнем моря*. С увеличением высоты годовая амплитуда уменьшается. В средних широтах она понижается до высоты 3 км.

#### 4.3. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА С ВЫСОТОЙ

Температура воздуха в целом в тропосфере уменьшается в среднем на  $0,6^\circ\text{C}$  на каждые 100 м высоты. Однако в нижнем слое (до 100–150 м) распределение температуры может быть различным: она может увеличиваться, оставаться постоянной или уменьшаться.

Когда температура с удалением от деятельной поверхности уменьшается, такое распределение, как отмечалось в разд. 3.4, называется *инсоляцией*. В воздухе над сушей это бывает в теплое время года в дневные часы при ясной погоде. При инсоляции создаются благоприятные условия для развития тепловой конвекции (см. разд. 4.1) и образования облаков.

Когда температура воздуха с высотой не меняется, такое состояние называется «*изотермия*». Изотермия температуры наблюдается в пасмурную тихую погоду.

Если температура воздуха увеличивается с удалением от поверхности, такое распределение температуры называют *инверсией*.

В зависимости от условий образования инверсий в приземном слое атмосферы их подразделяют на радиационные и адвективные.

*Радиационные инверсии* возникают при радиационном выхолаживании деятельной поверхности. Такие инверсии в теплый период года образуются ночью, а зимой наблюдаются также и днем. Поэтому радиационные инверсии подразделяют на ночные (летние) и зимние.

*Ночные инверсии* устанавливаются при ясной тихой погоде после перехода радиационного баланса через ноль за 1,0...1,5 ч до захода Солнца. В течение ночи они усиливаются и перед восходом Солнца достигают наибольшей мощности. После восхода Солнца деятельная поверхность и воздух прогреваются, что разрушает инверсию. Высота слоя инверсии чаще всего составляет несколько десятков метров, но при определенных условиях (например, в замкнутых долинах, окруженных значительными возвышениями) может достигать 200 м и более. Этому способствует сток охлажденного воздуха со склонов в долину. Облачность ослабляет инверсию, а ветер скоростью более 2,5...3,0 м/с разрушает ее. Под пологом густого травостоя, посева, а также сада летом инверсии наблюдаются и днем (рис. 4.4, б).

Ночные радиационные инверсии весной и осенью, а местами и летом могут вызывать снижение температуры поверхности почвы и воздуха до отрицательных значений (заморозки), что вызывает повреждение культурных растений.

*Зимние инверсии* возникают в ясную тихую погоду в условиях короткого дня, когда охлаждение деятельной поверхности непрерывно

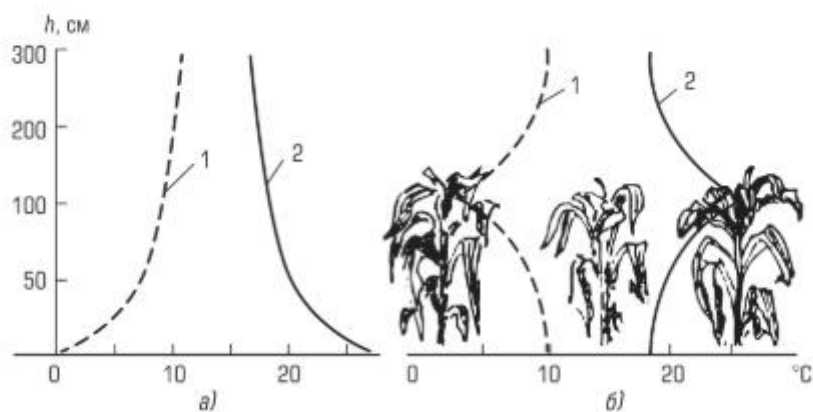


Рис. 4.4. Схема распределения температуры воздуха в приземном слое над почвой оголенной (а) и покрытой растительностью (б):  
1 — ночью; 2 — днем

увеличивается с каждым днем. Они могут сохраняться несколько недель, немного ослабевая днем и снова усиливаясь ночью.

Особенно усиливаются радиационные инверсии при резко неоднородном рельефе местности. Охлаждающийся воздух стекает в низины и котловины, где ослабленное турбулентное перемешивание способствует его дальнейшему охлаждению. Радиационные инверсии, связанные с особенностями рельефа местности, принято называть *орографическими*. Они опасны для плодовых деревьев и ягодных кустарников, так как температура воздуха при таких инверсиях может понижаться до критической.

*Адвективные инверсии* образуются при адвекции теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность, которая охлаждает прилегающие к ней слои надвигающегося воздуха. К этим инверсиям относят также и снежные инверсии. Они возникают при адвекции воздуха, имеющего температуру выше  $0^{\circ}\text{C}$ , на поверхность, покрытую снегом. Понижение температуры в самом нижнем слое в этом случае связано с затратами тепла на таяние снега.

#### 4.4. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

На метеорологических станциях термометры устанавливают в особой *психрометрической будке* (рис. 4.5), стенки которой жалюзийные. В такую будку не проникают лучи Солнца, но в то же время воздух имеет свободный доступ в нее.

Термометры устанавливают на штативе (подробнее см. рис. 5.4) так, чтобы резервуары располагались на высоте 2 м от действительной поверхности.

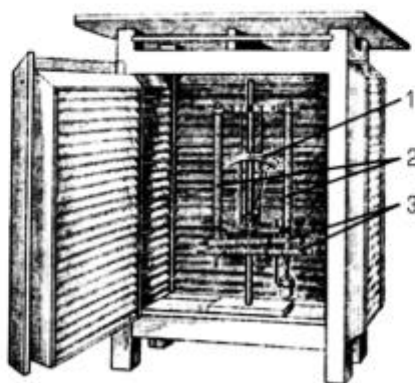


Рис. 4.5. Внутренний вид психрометрической будки:  
1 — гигрометр; 2 — сухой и смоченный термометры; 3 — максимальный и минимальный термометры

Срочную температуру воздуха измеряют ртутным *психрометрическим термометром* ТМ-4, который устанавливают вертикально. При температуре ниже  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  используют низкоградусный спиртовой термометр ТМ-9.

Экстремальные температуры измеряют по максимальному ТМ-1 и минимальному ТМ-2 (см. рис. 3.7, *I, а, б*) термометрам, которые укладывают горизонтально.

В экспедиционных (полевых) условиях для измерения срочной температуры может быть использован ртутный термометр-пращ ТМ-8. Этот термометр вращают над головой на специальном шнуре в горизонтальной плоскости со скоростью 1–2 об/с, пока показание термометра не установится.

Для непрерывной записи температуры воздуха служит *термограф* М-16А (рис. 4.6), который помещают в жалюзийной будке для самописцев. Колебания температуры воспринимаются изогнутой биметаллической пластинкой. В зависимости от скорости вращения барабана термографы бывают суточные и недельные.

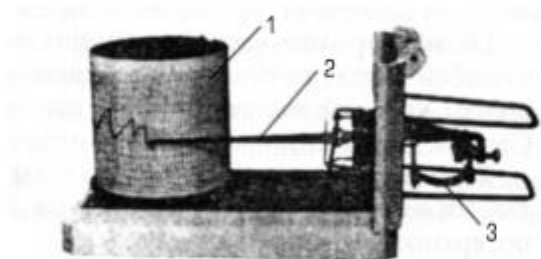


Рис. 4.6. Термограф М-16А:

1 — барабан с лентой; 2 — стрелка с пером; 3 — биметаллическая пластинка

В посевах и насаждениях температуру воздуха измеряют, не нарушая растительный покров. Для этого используют дистанционные электрические термометры сопротивления с малогабаритной приемной частью. Температуру среди растений можно измерить также аспирационным психрометром (см. рис. 5.5).

#### 4.5. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

При оценке температурного режима большой территории или отдельного пункта применяют характеристики температуры за год или отдельные периоды (вегетационный период, сезон, месяц, декада и сутки). Основные из этих показателей следующие.

*Средняя суточная температура* — среднее арифметическое из температур, измеренных во все сроки наблюдений. На метеорологиче-

ских станциях Российской Федерации температуру воздуха измеряют 8 раз в сутки. Суммируя результаты этих измерений и деля сумму на 8, получают среднюю суточную температуру воздуха.

*Средняя декадная температура* — среднее арифметическое из среднесуточных температур за 10 дней. Иногда ее сокращенно называют «декадная температура».

*Средняя месячная температура* — среднее арифметическое из средних суточных температур за все сутки месяца или среднее арифметическое из средних декадных температур. В литературе встречается и такое ее название — «месячная температура», например, июля.

*Средняя годовая температура* — среднее арифметическое из средних суточных (или средних месячных) температур за весь год.

Средняя годовая температура воздуха дает лишь общее представление о количестве тепла, она не характеризует годовой ход температуры. Так, средняя годовая температура на юге Ирландии и в степях Калмыкии, расположенных на одной широте, близка (9...11 °С). Но в Ирландии средняя температура января составляет 5...8 °С, и всю зиму здесь зеленеют луга, а в степях Калмыкии средняя температура января –5...–8 °С. Летом же в Ирландии прохладно: 14...16 °С, а средняя температура июля в Калмыкии — 23...26 °С.

Поэтому для более полной характеристики годового хода температуры в конкретном месте используют данные о средней температуре самого холодного и самого теплого месяцев.

Однако все осредненные характеристики не дают точного представления о суточном и годовом ходе температуры, т.е. как раз об условиях, особенно важных для сельскохозяйственного производства. Дополнением к средним температурам являются *максимальные и минимальные температуры, амплитуда*. Так, зная минимальную температуру в зимние месяцы, можно судить об условиях перезимовки озимых культур и плодово-ягодных насаждений. Данные о максимальной температуре, например, зимой показывают частоту оттепелей и их интенсивность, а летом — число жарких дней, когда возможно, в частности, повреждение зерна в период налива и т.д.

В экстремальных температурах выделяют: *абсолютный максимум (минимум)* — самая высокая (низкая) температура за весь период наблюдений; *средний из абсолютных максимумов (минимумов)* — среднее арифметическое из абсолютных экстремумов; *средний максимум (минимум)* — среднее арифметическое из всех экстремальных температур, например, за месяц, сезон, год. При этом их можно рассчитать как за многолетний период наблюдений, так и за фактический месяц, год и т.д.

*Амплитуда* суточного и годового хода температуры характеризует степень континентальности климата: чем больше амплитуда, тем климат континентальнее.

Продолжительность периода с температурой выше определенного уровня (значения). Для его определения строят график годового хода температуры, определяют даты перехода температуры через заданный уровень и подсчитывают число дней между датами. Например, период с температурой выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  характеризует длительность теплого периода, с температурой выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  — периода активной вегетации.

Характеристикой температурного режима в данной местности за определенный период служат также суммы среднесуточных температур выше или ниже определенного предела. Например, в климатических справочниках и атласах приводят суммы температур выше  $0$ ,  $5$ ,  $10$  и  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также ниже  $-5$  и  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Наглядное представление о географическом распределении показателей температурного режима дают карты, на которых проведены *изотермы* — линии равных значений температуры или сумм температур (рис. 4.7). Карты, например, сумм температур используют для обоснования размещения посевов (посадок) различных по требованиям к теплу культурных растений.

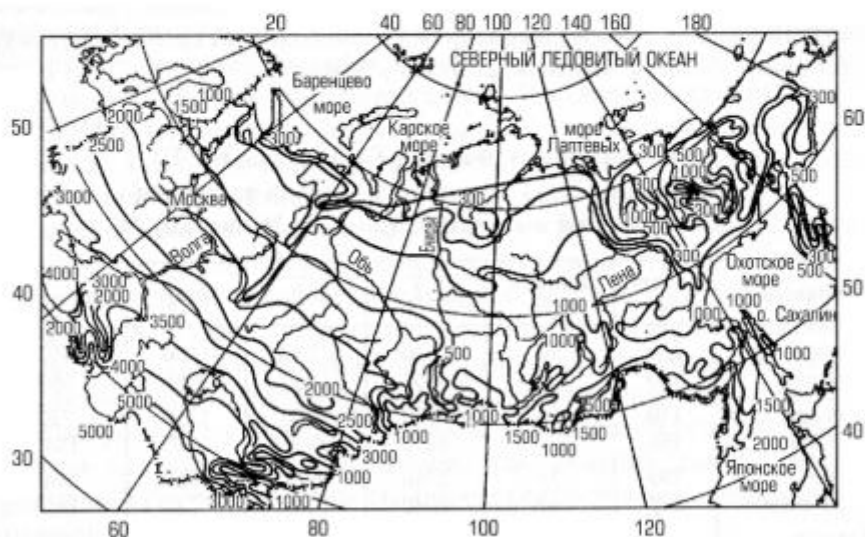


Рис. 4.7. Распределение сумм среднесуточных температур воздуха выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для уточнения термических условий, необходимых растениям, используют также суммы дневных и ночных температур, так как среднесуточная температура и ее суммы нивелируют термические различия в суточном ходе температуры воздуха.

Изучение термического режима отдельно для дня и ночи имеет глубокое физиологическое значение. Известно, что все процессы, происходящие в растительном и животном мире, подвержены природным ритмам, определяемым внешними условиями, т.е. подчинены закону так называемых биологических часов. Например, по данным Ф.В. Вента, для оптимальных условий роста тропических растений разница между дневными и ночными температурами должна составлять 3...5 °С, для растений умеренного пояса — 5...7, а для растений пустынь — 8 °С и более. Механизм термопериодической реакции заключается в том, что при повышенных дневных температурах растения интенсивно ассимилируют, накапливая органическое вещество, а ночью при пониженных температурах расход ассимилятов на дыхание значительно сокращается. Поэтому учет дневных и ночных температур приобретает особый смысл для повышения продуктивности сельскохозяйственных растений.

В средних дневных и ночных температурах и их суммах косвенно учитывается широтная изменчивость длины дня и ночи, а также изменение континентальности климата и влияние различных форм рельефа на температурный режим.

В табл. 4.1 приведены суммы температуры воздуха для нескольких пар метеостанций, расположенных примерно на одной широте, но значительно различающихся по долготе, т.е. находящихся в различных условиях континентальности климата. Из таблицы видно, что суммы среднесуточных температур близки для каждой пары, а суммы дневных и ночных температур существенно различаются между собой.

Таблица 4.1

**Суммы средних суточных ( $\Sigma \bar{t}_c$ ), дневных ( $\Sigma \bar{t}_d$ ) и ночных ( $\Sigma \bar{t}_n$ ) температур воздуха за период с температурой выше 10 °С (по З.А. Мищенко), °С**

Станция	Высота, м	Долгота, град.	$\Sigma \bar{t}_c$	$\Sigma \bar{t}_d$	$\Sigma \bar{t}_n$	$\Sigma \bar{t}_d - \Sigma \bar{t}_n$
Сыктывкар	130	50	1460	1650	1000	650
Якутск	100	130	1550	1860	880	980
Новосибирск	140	83	1820	2070	1350	720
Красноярск	156	93	1810	2330	1290	1040
Львов	298	24	2540	2980	2050	930
Коклекты	511	82	2540	3160	1310	1850
Одесса	43	30	3270	3500	2910	590
Бетпак-Дала	328	70	3370	4060	2510	1550
Ленкорань	37	49	4310	4980	3740	1240
Чардара	240	70	4300	5760	2620	3140

В более континентальных восточных районах суммы дневных температур на 200...500 °С больше, а суммы ночных температур на 300...1000 °С меньше, чем в западных, что объясняет давно известный факт — ускорение развития сельскохозяйственных культур в условиях резко континентального климата.

Потребность растений в тепле выражают *суммами активных и эффективных температур*. В сельскохозяйственной метеорологии *активная температура* — это среднесуточная температура воздуха (или почвы), равная или превышающая биологический минимум развития культуры. *Эффективная температура* — среднесуточная температура воздуха (или почвы), уменьшенная на значение биологического минимума (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Пример расчета среднесуточных активных и эффективных температур воздуха, °С

Температура	Число месяца									
	11-е	12-е	13-е	14-е	15-е	16-е	17-е	18-е	19-е	20-е
Средняя суточная	10,8	9,6	5,0	8,7	12,2	14,6	18,1	17,0	16,3	19,3
Активная:										
выше 10	10,8	0,0	0,0	0,0	12,2	14,6	18,1	17,0	16,3	19,3
выше 5	10,8	9,6	5,0	8,7	12,2	14,6	18,1	17,0	16,3	19,3
Эффективная:										
выше 10	0,8	0,0	0,0	0,0	2,2	4,6	8,1	7,0	6,3	9,3
выше 5	5,8	4,6	0,0	3,7	7,2	9,6	13,1	12,0	11,3	14,3

Растения, как известно, развиваются только в том случае, если среднесуточная температура превышает их биологический минимум, который составляет, например, для яровой пшеницы 5 °С, для кукурузы — 10, для хлопчатника — 13 °С. Суммы активных и эффективных температур установлены как для отдельных межфазных периодов, так и для всего периода вегетации многих сортов и гибридов основных сельскохозяйственных культур.

Через суммы активных и эффективных температур выражают и потребность в тепле пойкилотермных (холоднокровных) организмов как за онтогенетический период, так и за весь биологический цикл.

При расчете сумм среднесуточных температур, характеризующих потребность растений и пойкилотермных организмов в тепле, необходимо вводить поправку на *балластные температуры*, не ускоряющие рост и развитие, т.е. учитывать и верхний температурный уровень для культур и организмов. Для большинства растений и вредителей умеренной зоны это будет среднесуточная температура, превышающая 20...25 °С.



Значения всех вышерассмотренных показателей, рассчитанные за многолетний период, называют *средними многолетними*, или *нормой*. Например, на рис. 4.7 показано распределение средних многолетних (нормы) сумм активных температур. Все эти данные приведены в климатических и агроклиматических справочниках. Однако можно значения этих же показателей определить (рассчитать) за какой-либо календарный год, или месяц, или декаду и т.д.

#### 4.6. ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Значение температуры воздуха для растений общеизвестно. Фотосинтез, дыхание, транспирация, усвоение питательных веществ из почвы и другие физиологические процессы происходят в определенном диапазоне температур. Существуют температурные пределы жизнедеятельности растений — биологический минимум и биологический максимум. Между ними находится зона оптимальных температур, при которых наиболее интенсивно развиваются растения и формируется урожай. Пределы температуры для различных растений неодинаковы и изменяются даже для одного и того же растения в период его вегетации (табл. 4.3), а также при перемещении растений в другие географические условия. Таким образом, их нельзя считать постоянными. Они могут сдвигаться в пределах генетически заложенной нормы реакции в результате приспособления к условиям среды.

Таблица 4.3

##### Биологический минимум температуры в разные периоды вегетации некоторых культур (по В.Н. Степанову), °С

Культура	Появление всходов и формирование генеративных органов	Формирование вегетативных органов
Рапс яровой	2...3	8...10
Горох	4...5	8...10
Пшеница яровая, ячмень, овес	4...5	10...12
Чечевица	4...5	12...15
Подсолнечник	7...8	12...15
Просо	10...11	12...15
Фасоль	12...13	15...18
Хлопчатник	14...15	15...20
Рис	14...15	18...20

Самые низкие и самые высокие температуры, которые выдерживает данное растение, называют *температурными* или *летальными границами жизни*. В пределах этих границ находятся так называемые *латентные границы* — скрытые (внешне не проявляющиеся) границы физиологической реакции. После перехода температуры через эти границы активные жизненные процессы обратимо снижаются до минимального значения и протоплазма клеток впадает в тепловое или холодное оцепенение. При достижении летальной границы возникают необратимые повреждения и жизнь прекращается.

Температура среды также является одним из основных метеорологических факторов, определяющих возможность возникновения заболевания растений и степень его вредности. Влияние этого фактора начинает проявляться уже на первых этапах инфекционного процесса, обуславливая жизнеспособность возбудителя болезни и возможность его сохранения к началу вегетационного периода. Нижний предел прорастания спор, например, возбудителей болезней зерновых культур варьирует от 1 до 10 °С, оптимальные условия для заражения растений создаются при температуре 12...30 °С. Температура среды регулирует и скорость прорастания спор (рис. 4.8).

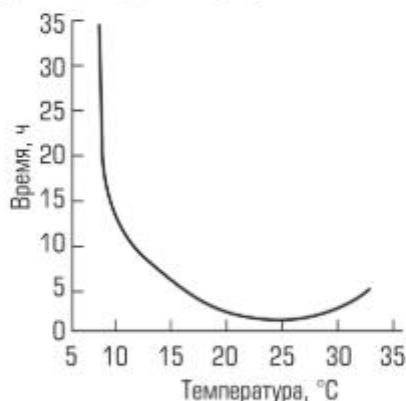


Рис. 4.8. Зависимость прорастания конидий возбудителя оидиума винограда от температуры воздуха (по Я.А. Сейдаметову)

Тесно связаны с температурным режимом распространение и вредоносность вредителей сельскохозяйственных растений. Для каждого вида вредных насекомых также существуют оптимальные и предельные значения температуры. Так, у саранчи период развития от стадии личинки до взрослого насекомого при температуре 32...39 °С длится 20 сут., при 22...27 °С — около 57 сут. Недостаток тепла задерживает или прекращает развитие насекомых. Например, гусеница лугового мотылька при температуре ниже 17 °С не превра-

щается в куколку, аналогичный эффект наблюдается у личинки жука-казарки при температуре ниже 14 °С.

От температуры воздуха во многом зависит также лежкоспособность и качество продукции при хранении. В этом случае играет роль температура в предуборочный период. Так, у корнеплодов и картофеля примерно за две недели до уборки при оптимальных температурах идет интенсивный отток питательных веществ из листьев, за счет чего в корнеплодах и клубнях накапливаются сухие вещества, они лучше дозревают. Во время хранения переохлаждение овощей вызывает образование язв и вмятин на поверхности, изменение окраски, появление водянистых пятен вследствие разрушения клеточных структур, гибель тканей. Поэтому для предупреждения порчи продукции и обеспечения ее лучшей сохранности очень важно поддерживать необходимый температурный режим хранения.

Тепло — один из основных экологических факторов жизнедеятельности биоценозов. Поэтому учет температурного режима воздуха важен для всех отраслей сельскохозяйственного производства как при выборе проектных решений, например районирование культур и сортов сельскохозяйственных растений, так и при выработке плановых: расчеты сроков сева и уборки, числа и сроков обработки посевов гербицидами, поливов и т.д.

Тепловой режим воздуха, как отмечалось ранее, определяется главным образом его теплообменом с деятельной поверхностью. Поэтому все приемы по изменению теплового режима почвы будут вызывать аналогичные изменения в температурном режиме приземного слоя воздуха.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. В результате каких процессов происходит теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой?
2. При каких условиях возможно развитие тепловой конвекции над сушей?
3. Перечислите факторы, влияющие на амплитуду суточного (годового) хода температуры воздуха.
4. Что такое инверсия температуры и при каких условиях она возникает?
5. Назовите показатели температурного режима.
6. Что такое активная температура, как и для чего ее считают?
7. Что такое эффективная температура, как и для чего ее вычисляют?
8. В чем различие между латентными и летальными температурами?
9. Почему необходим учет температурного режима воздуха в сельскохозяйственном производстве?
10. Как измеряют температуру воздуха?

### 5.1. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА. ХАРАКТЕРИСТИКИ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ

*Влажностью воздуха* называют содержание водяного пара в атмосфере. Водяной пар является одной из важнейших составных частей земной атмосферы.

Водяной пар непрерывно поступает в атмосферу вследствие испарения воды с поверхности водоемов, почвы, снега, льда и растительного покрова, на что затрачивается в среднем 23% солнечной радиации, приходящей на земную поверхность.

В атмосфере содержится в среднем  $1,29 \cdot 10^{13}$  т влаги (водяного пара и жидкой воды), что эквивалентно слою воды 25,5 мм.

Влажность воздуха характеризуется следующими величинами: абсолютная влажность, парциальное давление водяного пара, давление насыщенного пара, относительная влажность, дефицит насыщения водяного пара, температура точки росы.

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

*Парциальное давление (упругость) водяного пара  $e$*  — фактическое давление водяного пара, находящегося в воздухе, измеряют в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.), миллибарах (мб) и гектопаскалях (гПа). Упругость водяного пара часто называют абсолютной влажностью. Однако смешивать эти понятия нельзя, так как они отражают разные физические величины атмосферного воздуха.

*Давление насыщенного водяного пара, или упругость насыщения,  $E$*  — максимально возможное значение парциального давления при данной температуре; измеряют в тех же единицах, что и  $e$ . Упругость насыщения возрастает с увеличением температуры. Это значит, что при более высокой температуре воздух способен содержать больше водяного пара, чем при более низкой температуре.

*Относительная влажность  $f$*  — отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного водяного пара при данной температуре. Выражают ее в процентах с точностью до целых:

$$f = (e/E) \cdot 100\%. \quad (5.1)$$

Относительная влажность выражает степень насыщения воздуха водяными парами.

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

$$d = E - e. \quad (5.2)$$

Дефицит насыщения выражают в тех же единицах и с той же точностью, что и величины  $e$  и  $E$ . При увеличении относительной влажности дефицит насыщения уменьшается и при  $f = 100\%$  становится равным нулю.

Так как  $E$  зависит от температуры воздуха, а  $e$  — от содержания в нем водяного пара, то дефицит насыщения является комплексной величиной, отражающей тепло- и влагосодержание воздуха. Это позволяет шире, чем другие характеристики влажности, использовать дефицит насыщения для оценки условий произрастания сельскохозяйственных растений.

Точка росы  $t_d$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) — температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе при данном давлении, достигает состояния насыщения относительно химически чистой, плоской поверхности, воды. При  $f = 100\%$  фактическая температура воздуха совпадает с точкой росы. При температуре воздуха ниже точки росы начинается конденсация водяных паров (если  $t_d > 0$   $^{\circ}\text{C}$ ) или сублимация (если  $t_d < 0$   $^{\circ}\text{C}$ ), с образованием туманов, облаков, а на поверхности земли и предметов образуются роса, иней, изморозь.

## 5.2. ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В АТМОСФЕРЕ С ВЫСОТОЙ

Наибольшее количество водяного пара содержится в нижних слоях воздуха, непосредственно прилегающих к испаряющей поверхности. В вышележащие слои водяной пар поступает в результате турбулентной диффузии.

Проникновению водяного пара в вышележащие слои способствует то обстоятельство, что он легче воздуха в 1,6 раза, поэтому воздух, обогащенный водяным паром, как менее плотный стремится подняться вверх.

Распределение упругости водяного пара по вертикали зависит от изменения давления и температуры с высотой, от процессов конденсации и облакообразования. Поэтому трудно теоретически установить точную закономерность изменения упругости водяного пара с высотой. В целом парциальное давление водяного пара с высотой уменьшается, и уже на высоте 6 км упругость водяного пара в 9...10 раз меньше, чем на уровне моря. Это объясняется тем, что в приземный слой атмосферы водяной пар поступает непрерывно в результате испарения с деятельной поверхности и его диффузии за

счет турбулентности. Кроме того, температура воздуха с высотой понижается, а возможное содержание водяного пара ограничивается температурой, так как ее понижение способствует конденсации и сублимации водяного пара.

Уменьшение упругости пара с высотой может чередоваться с ее ростом. Например, в слое инверсии упругость пара обычно растет с высотой.

Относительная влажность распределяется по вертикали также неравномерно, но с высотой в среднем она уменьшается. В приземном слое атмосферы в летние дни она несколько возрастает с высотой за счет быстрого понижения температуры воздуха, затем начинает убывать вследствие уменьшения поступления водяного пара и снова возрастает до 100% в слое образования облаков. В слоях инверсии она резко уменьшается с высотой в результате повышения температуры. Особенно неравномерно изменяется относительная влажность до высоты 2...3 км.

### **5.3. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА**

В приземном слое атмосферы наблюдается хорошо выраженный суточный и годовой ход влагосодержания, связанный с соответствующими периодическими изменениями температуры.

*Суточный ход упругости водяного пара и абсолютной влажности* над океанами, морями и в прибрежных районах суши аналогичен суточному ходу температуры воды и воздуха: минимум перед восходом Солнца и максимум в 14...15 ч. Минимум обусловлен очень слабым испарением (или его отсутствием вообще) в это время суток. Днем по мере увеличения температуры и соответственно испарения влагосодержание в воздухе растет. Таков же суточный ход упругости водяного пара и над материками зимой.

В теплое время года в глубине материков суточный ход этих характеристик имеет вид двойной волны (рис. 5.1). Первый минимум наступает рано утром вместе с минимумом температуры. После восхода Солнца температура деятельной поверхности повышается, увеличивается скорость испарения и количество водяного пара в нижнем слое атмосферы быстро растет. Такой рост продолжается до 8...10 ч, пока испарение преобладает над переносом пара снизу в более высокие слои. После 8...10 ч возрастает интенсивность турбулентного перемешивания, в связи с чем водяной пар быстро переносится вверх. Этот отток водяного пара уже не успевает компенсироваться испарением, в результате чего абсолютная влажность и, следовательно, упругость водяного пара в приземном слое уменьшаются и достигают второго минимума в 15...16 ч. В предвечерние часы турбулентность ослабевает, тогда как довольно интенсивное поступ-

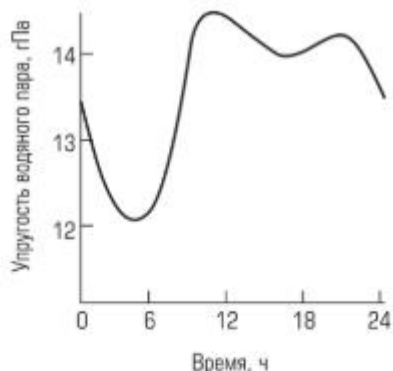


Рис. 5.1. Суточный ход упругости водяного пара в июле (г. Иркутск)

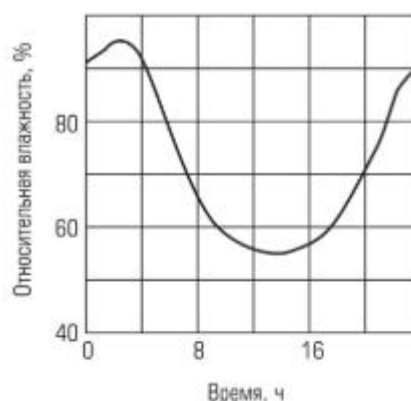


Рис. 5.2. Суточный ход относительной влажности в ясные дни в июне (г. Павловск)

ление водяного пара в атмосферу путем испарения еще продолжается. Упругость пара и абсолютная влажность в воздухе начинают увеличиваться и в 20...22 ч достигают второго максимума. В ночные часы испарение почти прекращается, в результате чего содержание водяного пара уменьшается.

*Годовой ход упругости водяного пара и абсолютной влажности совпадают с годовым ходом температуры воздуха как над океаном, так и над сушей. В Северном полушарии максимум влагосодержания воздуха наблюдается в июле, минимум — в январе. Например, в Санкт-Петербурге средняя месячная упругость пара в июле составляет 14,3 гПа, а в январе — 3,3 гПа.*

*Суточный ход относительной влажности зависит от упругости пара и упругости насыщения. С повышением температуры испаряющей поверхности увеличивается скорость испарения и, следовательно, увеличивается  $e$ . Но упругость насыщения растет значительно быстрее, чем фактическая ( $e$ ), поэтому с повышением температуры поверхности, а с ней и температуры воздуха относительная влажность уменьшается (см. формулу (5.1)). В итоге ход ее вблизи земной поверхности оказывается обратным ходу температуры поверхности и воздуха: максимум относительной влажности наступает перед восходом Солнца, а минимум — в 15...16 ч (рис. 5.2). Дневное ее понижение особенно резко выражено над континентами в летнее время, когда в результате турбулентной диффузии пара вверх  $e$  у поверхности уменьшается, а вследствие роста температуры воздуха  $E$  увеличивается. Поэтому амплитуда суточных колебаний относительной влажности на материках значительно больше, чем над водными поверхностями.*

В годовом ходе относительная влажность воздуха, как правило, также меняется обратно ходу температуры. Например, в Санкт-Петербурге относительная влажность в мае в среднем составляет 65%, а в декабре — 88% (рис. 5.3). В районах с муссонным климатом минимум относительной влажности приходится на зиму, а максимум — на лето вследствие летнего переноса на сушу масс влажного морского воздуха: например, во Владивостоке летом  $f = 89\%$ , зимой  $f = 68\%$ .

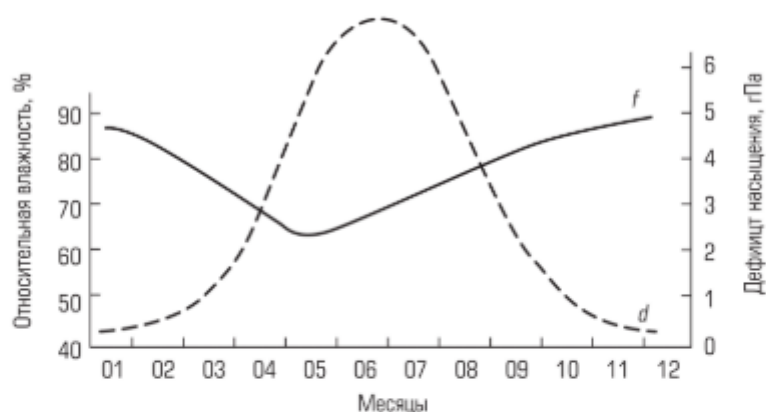


Рис. 5.3. Годовой ход относительной влажности воздуха ( $f$ ) и дефицита насыщения водяного пара ( $d$ ) (Санкт-Петербург)

Ход дефицита насыщения водяного пара параллелен ходу температуры воздуха. В течение суток дефицит бывает наибольшим в 14...15 ч, а наименьшим — перед восходом Солнца. В течение года дефицит насыщения водяного пара имеет максимум в самый жаркий месяц и минимум — в самый холодный. В засушливых степных районах России летом в 13 ч ежегодно отмечается дефицит насыщения, превышающий 40 гПа. В Санкт-Петербурге дефицит насыщения водяного пара в июне в среднем составляет 6,7 гПа, а в январе — только 0,5 гПа.

#### 5.4. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ

Растительный покров оказывает большое влияние на влажность воздуха. Растения испаряют (транспирируют) большое количество воды и тем самым обогащают водяным паром приземный слой атмосферы. Поэтому внутри растительного сообщества наблюдается повышенное влагосодержание воздуха по сравнению с оголенной поверхностью. Этому способствует еще и уменьшение расти-



тельным покровом скорости ветра, а следовательно, и турбулентной диффузии пара. Особенно резко это различие выражено в дневные часы. Упругость пара внутри крон деревьев в ясные летние дни может быть на 2...4 гПа больше, чем на открытом месте, в отдельных случаях даже на 6...8 гПа. Внутри агрофитоценозов возможно повышение упругости пара по сравнению с паровым полем на 6...11 гПа. В вечерние и ночные часы влияние растительности на влагосодержание меньше.

Большое влияние растительный покров оказывает и на относительную влажность. Так, в ясные летние дни внутри посевов ржи и пшеницы относительная влажность на 15...30% больше, чем над открытым местом, а в посевах высокостебельных культур (кукуруза, подсолнечник) — на 20...30% больше, чем над оголенной почвой. В посевах наибольшая относительная влажность наблюдается у поверхности почвы, затененной растениями, а наименьшая — в верхнем ярусе листьев (табл. 5.1).

Таблица 5.1

**Распределение по вертикали относительной влажности и дефицита насыщения водяного пара в полдень над оголенной почвой и в посевах кукурузы в фазе выметывания метелки (по Ю.И. Чиркову)**

Высота измерения, см	Над оголенной почвой		В посевах		Примечание
	f, %	d, гПа	f, %	d, гПа	
200	23	24,5	27	21,9	Высота растений 220...240 см
100	22	27,2	40	18,1	Густота посева 40 тыс. растений/га
10	24	31,5	52	13,5	Затенение междурядий около 95%

Дефицит насыщения водяного пара соответственно в посевах значительно меньше, чем над оголенной почвой. Его распределение характеризуется понижением от верхнего яруса листьев к нижнему (см. табл. 5.1).

Ранее отмечалось, что растительный покров значительно влияет на радиационный режим (см. гл. 2), температуру почвы и воздуха (см. гл. 3 и 4), существенно изменяя их по сравнению с открытым местом, т.е. в растительном сообществе формируется свой особый метеорологический режим — *фитоклимат*. Насколько сильно он выражен, зависит от вида, габитуса и возраста растений, густоты насаждения, способа посева (посадки). Влияют на фитоклимат и погодные условия — в малооблачную и ясную погоду фитоклиматические особенности проявляются сильнее.

## 5.5. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Влажность воздуха может быть измерена несколькими методами: абсолютным (весовым), психрометрическим и гигрометрическим (сорбционным).

Сущность *абсолютного метода* заключается в том, что через стеклянные трубки, наполненные каким-либо гигроскопичным веществом (например, хлористым кальцием, крепкой серной кислотой), пропускают определенный объем воздуха. Трубки взвешивают до и после пропускания через них воздуха и по прибавлению их массы судят о количестве поглощенного водяного пара. Разделив прибавленную массу на объем пропущенного через трубки воздуха, определяют его абсолютную влажность в граммах на кубический метр.

Этот способ определения влажности воздуха кропотлив, занимает много времени, и поэтому его применяют только в лабораториях.

Наибольшее распространение получили психрометрический и гигрометрический (сорбционный) методы.

*Психрометрический метод* измерения основан на охлаждении одного из двух психрометрических термометров за счет испарения, так как его резервуар обернут кусочком батиста и перед измерением его смачивают дистиллированной водой. Поэтому показания «смоченного» термометра, как правило, меньше, чем «сухого». На этом принципе действуют стационарный и аспирационный психрометры.

*Стационарный психрометр* устанавливают в психрометрической будке (рис. 5.4) на метеоплощадке.

*Аспирационный психрометр* МВ-4М (рис. 5.5) по принципу действия не отличается от стационарного. Главная особенность конструкции этого прибора — наличие аспирационного устройства, обеспечивающего обдувание резервуаров термометров воздухом. Его широко применяют при полевых наблюдениях, так как он удобен при переноске и измерении влажности (и температуры) воздуха внутри растительного покрова.

При измерении температуры и влажности воздуха в посевах аспирационный психрометр устанавливают горизонтально (или вертикально) на нужном уровне. Отверстия защитных трубок при горизонтальном расположении должны быть ориентированы в противоположную от Солнца сторону и навстречу ветру.

При наличии источника питания можно использовать психрометр с электродвигателем М-34.

По психрометру влажность воздуха определяют только до температуры воздуха  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При более низких температурах показания

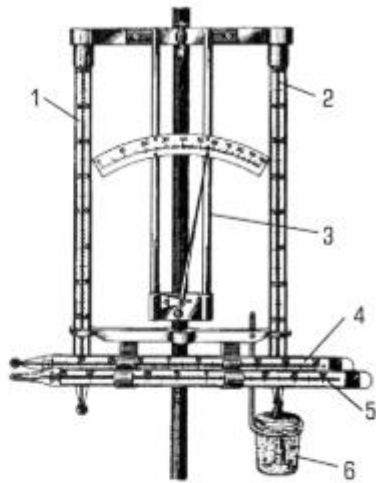


Рис. 5.4. Установка приборов в психрометрической будке:

- 1 — сухой (срочный) термометр; 2 — смоченный термометр; 3 — гигрометр; 4 — максимальный термометр; 5 — минимальный термометр; 6 — стаканчик с водой

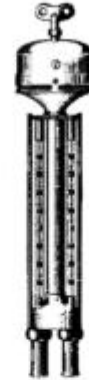


Рис. 5.5. Аспирационный психрометр МВ-4М

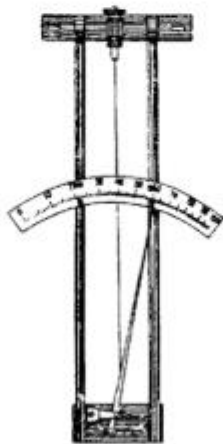


Рис. 5.6. Волосной гигрометр МВ-1

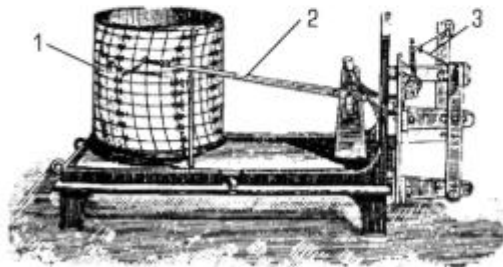


Рис. 5.7. Гигрограф волосной М-21А:  
1 — барабан с лентой; 2 — стрелка с пером;  
3 — пучок волос

психрометра ненадежны, поэтому переходят на гигрометрический метод.

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

*Волосной гигрометр* МВ-1 служит для измерения относительной влажности воздуха (рис. 5.6). Действие прибора основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять длину в зависимости от относительной влажности воздуха.

*Гигрограф волосной* М-21А применяют для непрерывной регистрации относительной влажности воздуха (рис. 5.7). Приемником влажности является пучок обезжиренных человеческих волос. В зависимости от скорости вращения барабана бывают гигрографы двух видов — суточные и недельные.

Приборы, работающие на гигрометрическом принципе, — относительные. Поэтому их показания необходимо определенным способом корректировать с показаниями психрометра.

## **5.6. ЗНАЧЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Водяной пар, содержащийся в атмосфере, имеет, как отмечалось в гл. 2, большое значение в сохранении тепла на земной поверхности. Влажность воздуха относится к числу элементов погоды, имеющих существенное значение и для сельскохозяйственного производства.

Влажность воздуха оказывает большое влияние на растения. Она в значительной степени обуславливает интенсивность транспирации. При высокой температуре и пониженной влажности ( $f < 30\%$ ) транспирация резко увеличивается и в растениях возникает большой недостаток воды, что отражается на их росте и развитии. Например, отмечается недоразвитие генеративных органов, задерживается цветение.

Низкая влажность в период цветения вызывает пересыхание пыльцы и, следовательно, неполное оплодотворение, что у зерновых, например, вызывает череззерницу. В период налива зерна чрезмерная сухость воздуха приводит к тому, что зерно получается щуплым, урожай снижается.

Малое влагосодержание воздуха обуславливает мелкоплодность плодовых, ягодных культур, винограда, слабую закладку почек под урожай будущего года и, следовательно, снижение урожая.

Влажность воздуха отражается и на качестве урожая. Отмечено, что низкая влажность снижает качество льноволокна, но повышает

хлебопекарные качества пшеницы, технические свойства льняного масла, содержание сахара в плодах и т.д.

Особенно неблагоприятно снижение относительной влажности воздуха при недостатке почвенной влаги. Если жаркая и сухая погода длится продолжительное время, то растения могут засохнуть.

Отрицательно сказывается на росте и развитии растений и длительное повышение влагосодержания ( $f > 80\%$ ). Избыточно высокая влажность воздуха обуславливает крупноклеточное строение ткани растений, что приводит в дальнейшем к полеганию зерновых культур. В период цветения такая влажность воздуха препятствует нормальному опылению растений, так как меньше раскрываются пыльники, уменьшается лёт насекомых и снижается урожай.

Повышенная влажность воздуха задерживает наступление полной спелости зерна, увеличивает содержание влаги в зерне и соломе, что, во-первых, неблагоприятно отражается на работе уборочных машин, а во-вторых, требует дополнительных затрат на просушку зерна (табл. 5.2).

Таблица 5.2

**Влажность зерна и соломы в зависимости от дефицита насыщения водяного пара (по А.П. Федосееву)**

Дефицит насыщения водяного пара, гПа	Влажность, %	
	зерна	соломы
2	24,2	46,0
4	19,2	32,0
6	16,8	25,0
8	15,3	22,3
10	14,2	19,2

Снижение дефицита насыщения до 3 гПа и более приводит практически к прекращению уборочных работ из-за плохих условий.

В теплое время года повышенная влажность воздуха способствует развитию и распространению ряда грибных заболеваний сельскохозяйственных культур (фитофтороз картофеля и томатов, милдью винограда, белая гниль подсолнечника, различные виды ржавчины зерновых культур и др.). Особенно усиливается влияние этого фактора с увеличением температуры (табл. 5.3).

От влажности воздуха зависят и сроки проведения ряда сельскохозяйственных работ: борьбы с сорняками, закладки кормов на силос, проветривания складских помещений, сушки зерна и др.

Таблица 5.3

Число растений яровой пшеницы Цезиум 111, пораженных головней в зависимости от влажности и температуры воздуха (по А.Т. Троповой), %

Влажность воздуха, %	Температура воздуха, °С					
	13...14	15...16	17...18	19...20	23...24	25...26
60	—	—	—	—	—	46,0
70...75	39,0	50,0	—	—	63,1	73,0
76...80	—	45,6	31,2	56,8	—	76,5
81...85	47,1	—	36,2	51,2	—	—
86...90	54,2	—	50,7	51,7	—	80,5
100	—	—	—	—	—	84,1

Влажность воздуха, как и температура, в значительной степени влияет на лежкоспособность сельскохозяйственной продукции. Поэтому очень важно в хранилищах поддерживать оптимальный влажностный режим.

#### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое влажность воздуха и какими величинами она характеризуется?
2. Перечислите условия, при которых водяной пар достигает состояния насыщения.
3. Почему значение дефицита насыщения отражает тепло- и влагосодержание воздуха?
4. Что происходит с водяным паром, когда температура воздуха падает ниже температуры точки росы?
5. Как изменяются характеристики влажности воздуха в течение суток (года)? Представьте графически их изменения.
6. Как складывается режим влажности воздуха в растительном покрове?
7. Почему необходим учет влажности воздуха в сельскохозяйственном производстве?
8. Как измеряют влажность воздуха? Объясните принцип психрометрического метода.

## ГЛАВА 6

### ИСПАРЕНИЕ ВОДЫ И КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

---

#### 6.1. ИСПАРЕНИЕ И ИСПАРЯЕМОСТЬ

*Испарением* называют переход вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное. Испарение является одним из основных звеньев в круговороте воды на земном шаре, а также важнейшим фактором теплообмена в растительных и животных организмах.

Испарение имеет большое значение не только в водном обмене, но и в энергообмене, так как сопровождается затратой тепловой энергии. Так, при 0 °С на испарение 1 г воды затрачивается 2,5 кДж, а 1 г льда — 2,84 кДж тепла. Для всей земной поверхности эти затраты составляют порядка  $12,6 \cdot 10^{20}$  кДж/год, или около 30% поглощаемого Землей солнечного тепла. За год с поверхности Мирового океана испаряется около  $450 \cdot 10^3$  км<sup>3</sup> воды, а с поверхности суши —  $70 \cdot 10^3$  км<sup>3</sup>.

Количественно испарение характеризуется *скоростью испарения* — массой воды, испарившейся с единицы поверхности за единицу времени. Для практических целей скорость испарения выражается высотой (в миллиметрах) слоя воды, испарившейся за единицу времени. Слой воды высотой 1 мм, испарившейся с площади 1 м<sup>2</sup>, соответствует массе воды в 1 кг или 1 л воды, а испарившейся с площади 10 000 м<sup>2</sup> (т.е. с 1 га) — 10 т или 10 м<sup>3</sup> воды.

На интенсивность испарения влияют многие факторы, в том числе и метеорологические. Главные из них — температура испаряющей поверхности, влажность воздуха и ветер. Согласно закону Дальтона скорость испарения  $\omega$  прямо пропорциональна разности между давлением насыщенного пара  $E_1$ , вычисленным по температуре испаряющей поверхности, и парциальным давлением водяного пара  $e$ , находящегося в воздухе, и обратно пропорциональна атмосферному давлению  $P$ :

$$\omega = [A(E_1 - e)]/P, \quad (6.1)$$

где  $A$  — коэффициент пропорциональности, зависящий, в частности, от скорости ветра.

Из закона Дальтона следует, что скорость испарения будет возрастать по мере увеличения разности  $E_1 - e$ , т.е. дефицита влажности воздуха.

Влияние атмосферного давления обусловлено тем, что его увеличение затрудняет отрыв молекул воды от испаряющей поверхности.

В связи с тем что у поверхности Земли атмосферное давление колеблется в сравнительно небольших пределах, оно несущественно влияет на скорость испарения и учитывается главным образом при сравнении скорости испарения на разных высотах в горной местности. При прочих равных условиях скорость испарения с высотой возрастает.

Зависимость скорости испарения от скорости ветра связана с турбулентной диффузией пара, которая становится интенсивнее по мере усиления ветра.

*Испаряемость* — максимально возможное (потенциальное) испарение с избыточно увлажненной почвы или с поверхности воды при существующих метеорологических условиях конкретной территории. Выражается также в миллиметрах слоя испарившейся воды в единицу времени.

На европейской части территории России испаряемость возрастает с северо-запада на юго-восток, так как в этом направлении увеличиваются тепловые ресурсы и сухость воздуха. Средняя годовая испаряемость в Санкт-Петербурге — 320 мм, в Москве — 420, в Астрахани — 850 мм, в то время как годовое испарение составляет 300, 380 и 170 мм соответственно.

## 6.2. ИСПАРЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ, ПОЧВЫ И РАСТЕНИЙ

Скорость испарения зависит не только от метеорологических факторов, но и от свойств испаряющей поверхности.

Испарение с *водной поверхности* зависит, во-первых, от размера водоема. Испарение с небольших водоемов активнее, так как ветер приносит с окружающей суши более сухой воздух. Во-вторых, оно зависит от солености воды. С пресных водоемов испарение больше, так как упругость насыщения над пресной водой больше, чем над раствором.

На скорость испарения с *поверхности почвы* влияет много факторов. Очевидно, что с увеличением влажности почвы при прочих равных условиях испарение больше. Темные почвы сильнее прогреваются, чем светлые, и поэтому испаряют больше влаги. С неровной поверхности почвы (вспаханное поле) испарение идет интенсивнее, чем с ровной, так как над шероховатой поверхностью сильнее развито турбулентное перемешивание.

Интенсивность испарения зависит также от разновидности почвы. Песчаные почвы испаряют меньше, чем глинистые, и эта разница тем больше, чем крупнее частицы песка. А при диаметре песчинок более 2 мм испарения практически не происходит.

На скорость испарения оказывает влияние состояние почвы. Рыхлая почва с разрушенными капиллярами испаряет меньше, чем плот-



ная с узкими капиллярами, по которым влага поднимается к поверхности почвы.

П.А. Костычев отмечал, что испарение с поверхности почвы резко уменьшается, если пахотный слой почвы имеет комковатое строение. В этом случае поднятие воды и, следовательно, испарение ее затруднены тем, что между отдельными комками имеются ходы большого размера, препятствующие капиллярным перемещениям воды. Наоборот, порошкообразная или пылеватая структура почвы вызывает усиленное испарение с поверхности почвы.

На испарение воды почвой оказывает влияние глубина залегания грунтовых вод. Чем ближе к испаряющей поверхности залегают грунтовые воды, тем больше испарение.

Рельеф обуславливает изменение скорости ветра и различие в температуре почвы. На возвышенностях скорость ветра больше, чем в низинах, вследствие чего скорость испарения на возвышенностях больше. Склоны южной экспозиции прогреваются сильнее, чем северные, поэтому испарение на южных склонах интенсивнее.

Испарение воды растениями называют *транспирацией*. Транспирация — это сложный физико-биологический процесс. Поглощая воду из почвы, растение снабжает себя не только водой, обеспечивая процесс фотосинтеза, но и элементами минерального питания (в растворенном виде). А испаряя воду, растение понижает свою температуру.

Интенсивность транспирации зависит от тех же метеорологических факторов, что и физическое испарение с поверхности воды или почвы: температуры и влажности воздуха, скорости ветра. Транспирация воды происходит через устьица, которые на свету раскрываются больше. Следовательно, зависит еще от освещенности (см. разд. 2.5).

Интенсивность транспирации зависит также от вида и сорта, состояния и фазы развития растений.

Расход воды на транспирацию может быть выражен через различные показатели, однако в сельскохозяйственной практике чаще применяют *коэффициент транспирации* — отношение массы воды, расходуемой растением на транспирацию, к массе сухого вещества (биологическому урожаю) за вегетационный или межфазный период.

Значение коэффициента транспирации изменяется в зависимости от условий произрастания: в более влажном климате и при значительных дозах удобрений транспирационный коэффициент уменьшается. Чем лучше условия внешней среды для растений, выше агротехника и больше урожай, тем меньше коэффициент транспирации.

Значения коэффициентов транспирации, полученные различными авторами, приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Ориентировочные значения коэффициентов транспирации различных культур**

Культура	Коэффициент транспирации	Культура	Коэффициент транспирации
Пшеница	450...600	Лен	400...500
Овес	600...800	Подсолнечник	500...600
Рожь	500...800	Травы	500...700
Горох	290...420	Картофель	300...600
Гречиха	500...600	Овощи	500...800
Просо	200...250	Ячмень	310...770
Рис	500...800	Лиственные породы деревьев	400...600
Кукуруза	250...300		

Под *суммарным испарением (эвапотранспирацией)* понимается сумма транспирации, испарения с почвы и испарения влаги, задержанной растительным покровом при выпадении осадков. Суммарное испарение сельскохозяйственных полей помимо погодных условий обусловлено мощностью растительного покрова, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур, глубиной корнеобитаемого слоя, агротехникой возделывания и т.д.

Соотношение между составляющими суммарного испарения в течение вегетационного периода значительно изменяется. В начале вегетации, когда испаряющая листовая поверхность еще невелика, испарение с поверхности почвы больше, чем с поверхности растений. В дальнейшем расход воды на транспирацию превышает физическое испарение с поверхности почвы, так как по мере нарастания фитомассы увеличивается затенение почвы и ослабляется воздухообмен среди растений.

**6.3. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД ИСПАРЕНИЯ**

Испарение с деятельной поверхности имеет выраженный суточный ход, особенно в теплое время года.

В суточном ходе испарение следует за дефицитом влажности воздуха, который, в свою очередь, следует за температурой.

Испарение начинается утром, приблизительно через 1 ч после восхода Солнца, и прекращается вечером, примерно за 1 ч до захода Солнца. В ночное время суток испарение практически равно нулю.

Максимум испарения наблюдается в 13...14 ч, когда достигают наибольших значений температура испаряющей поверхности, дефицит насыщения водяного пара и скорость ветра.

На годовой ход испарения, как и на суточный, главное влияние оказывает температура. Поэтому наибольшее испарение бывает в летние месяцы (июнь—июль), иногда и в мае, а наименьшее — в январе или декабре. Весной вследствие малой абсолютной влажности воздуха испарение бывает больше, чем осенью.

#### 6.4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ И ИСПАРЯЕМОСТИ

Фактическое испарение влаги с полей, занятых сельскохозяйственными культурами, — *эвапотранспирацию* — определяют с помощью *почвенного испарителя* ГГИ-500-50 (рис. 6.1). В зоне недостаточного увлажнения используют испаритель ГГИ-500-100 (для слоя почвы 0...100 см). Каждый из них состоит из двух металлических цилиндров. Во внутреннем цилиндре находится почвенный монолит с ненарушенной структурой почвы и растительностью. Дно внутреннего цилиндра имеет отверстия, через которые стекает избыток воды от выпавших дождей в водосборный сосуд. В комплект испарителя входит почвенный дождемер для измерения осадков. Для определения испарения цилиндр с почвенным монолитом каждые пять дней вынимают из внешнего цилиндра и взвешивают. При этом испарение рассчитывают по формуле

$$E = 20 (q_1 - q_2) - m + r, \quad (6.2)$$

где  $E$  — слой воды, испарившейся между двумя взвешиваниями, мм; 20 — множитель для перевода количества испарившейся

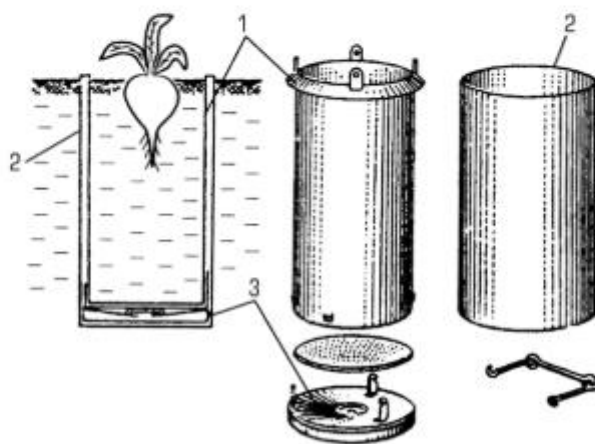


Рис. 6.1. Почвенный испаритель ГГИ-500-50:  
1 — внутренний цилиндр; 2 — внешний цилиндр; 3 — водосборный сосуд

воды из килограммов в миллиметры;  $q_1$  и  $q_2$  — масса монолита соответственно в предыдущий и текущий сроки измерений, кг;  $m$  — количество воды, просочившейся в водосборный сосуд, мм;  $r$  — количество выпавших осадков за период между взвешиваниями, мм.

Два раза в месяц, а также после сильных ливней монолит во внутреннем сосуде меняют.

Наиболее совершенным прибором является *гидравлический почвенный испаритель* (ГПИ). Это сложная установка, в которой монолит почвы массой около 400 кг при площади испаряющей поверхности 2000 см<sup>2</sup> помещен в поплавок, находящийся в баке с водой. Глубина погружения монолита меняется в зависимости от испарения.

Для изучения испарения с водной поверхности, т.е. испаряемости, в различных климатических условиях организована сеть водно-испарительных станций, на которых устанавливают испарительные бассейны площадью 20 м<sup>2</sup>, а также испарители ГПИ-3000. Наблюдение за испарением с водной поверхности заключается в определении изменений уровня воды в бассейне и испарителях с учетом количества выпавших осадков.

Для измерения испаряемости с поверхности почвы используют прибор *лизиметр*. В нем устанавливается уровень воды, обеспечивающий неограниченное потребление влаги растениями.

Определение значения испарения как с водных поверхностей, так и с поверхности суши имеет важное значение для решения ряда прикладных задач, связанных, например, с осушением, орошением, во-

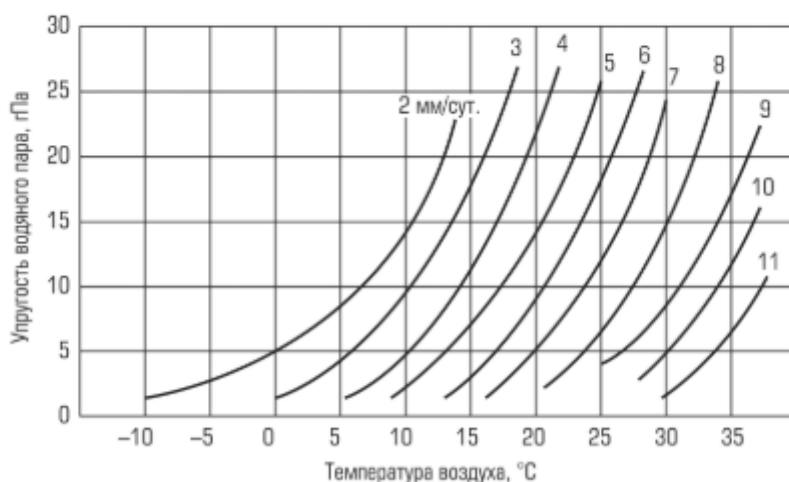


Рис. 6.2. Зависимость максимально возможного испарения (испаряемости) с сельскохозяйственных полей от температуры воздуха и упругости водяного пара при оптимальном увлажнении почвы

доснабжением и т.д. Поэтому в практике нашли применение различные эмпирические методы. Для оценки максимально возможного испарения можно использовать формулы Н.Н. Иванова, С.И. Костина, Г.Т. Селянинова, А.М. Алпатьева, М.И. Будыко и др. Фактическое испарение с полей можно рассчитать по уравнениям теплового или водного баланса.

Расход влаги определяют также с помощью графиков и номограмм. Например, для расчета максимально возможного испарения с поля при оптимальном увлажнении почвы можно использовать номограмму А.Р. Константинова (рис. 6.2). Для этого необходимо знать среднесуточные значения температуры воздуха и упругости водяного пара.

### **6.5. МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИСПАРЕНИЯ С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ**

Одна из важнейших задач агротехники — сокращение непродуктивного испарения с почвы, а также испарения влаги сорной растительностью.

Существенно изменить режим испарения влаги с сельскохозяйственных полей возможно посадкой *полезащитных лесных полос* и *кулис* из высокостебельных растений (подсолнечника, кукурузы и др.), которые уменьшают скорость ветра и ослабляют турбулентное перемешивание воздуха в приземном слое. Это значительно сокращает испарение на защищенных участках. По расчету А.Р. Константинова общее снижение испарения для участков черного пара, защищенных лесными полосами, составляет в среднем около 20%.

Потери влаги сильно увеличиваются с распыленной уплотненной поверхности бесструктурной или малоструктурной почвы за счет ее *капиллярного испарения*. Для регулирования испарения в этом случае в практике широко применяют ряд приемов, изменяющих поверхность почвы: ранневесеннее боронование зяби, неглубокая междурядная обработка пропашных культур, гребневание. По данным В.Р. Вильямса, даже при наличии незначительного рыхлого слоя на поверхности почвы (всего несколько сантиметров) испарение с последней уменьшается в 4...5 раз.

При крупнокомковатом же и особенно глыбистом сложении и гребнистой поверхности увеличивается *диффузное испарение влаги*. В таких случаях при засушливых условиях разрыхление почвы, увеличивающее ее воздухопроницаемость, усиливает потери влаги за счет увеличения диффузии водяных паров в почве. В данных условиях значительно уменьшает непроизводительные потери воды создание плотной прослойки мощностью 5...6 см на глубине 10...12 см от поверхности почвы.

В засушливых районах большой эффект дает *безотвальная обработка* почвы осенью, предложенная Т.С. Мальцевым. Положительное влияние безотвальной вспашки проявляется в том, что после нее стерня остается на поверхности почвы и, являясь мульчирующим слоем, уменьшает расход влаги на испарение. Кроме того, стерня хорошо задерживает снег, что также пополняет запасы влаги в почве при снеготаянии. Здесь же для сохранения влаги в почве целесообразно проводить прикатывание верхнего слоя, чтобы перекрыть диффузное испарение воды, преобладающее в рыхлых почвах.

Более экономному расходованию влаги растениями на транспирацию способствуют *фосфорно-калийные удобрения*. По данным, например, В.Д. Панникова водопотребление в этом случае снижалось у зерновых колосовых на 30%, у томатов — на 45%.

Испарение с поверхности почвы можно уменьшить, покрывая поверхность почвы торфяной крошкой, навозом, древесными опилками, мелкой соломой, листьями и др. Для мульчирования используют также полиэтиленовую пленку. Этот прием воздействует на микроклимат нижней части приземного слоя воздуха и изменяет водный режим почвы. Почва в этом случае еще и предохраняется от уплотнения, что создает лучший воздушный режим для корней и почвенной микрофлоры.

Определенный эффект дает *применение гербицидов*, уничтожающих сорные растения, так как при этом уменьшается непродуктивное испарение.

Изыскание эффективных способов снижения непродуктивного испарения влаги из почвы и растений остается важной проблемой богарных и орошаемых земель.

## 6.6. КОНДЕНСАЦИЯ И СУБЛИМАЦИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

Переход водяного пара в жидкое состояние называется *конденсацией*. Превращение водяного пара в твердое состояние, минуя жидкую фазу, называется *сублимацией*. Конденсация и сублимация водяного пара происходят как в атмосфере, так и на деятельной поверхности.

Водяной пар, содержащийся в воздухе, переходит в жидкое или твердое состояние лишь в том случае, когда  $e > E$ . Таким образом, для начала конденсации или сублимации либо фактическая упругость водяного пара в воздухе должна увеличиваться до значения, превышающего упругость насыщения, либо температура воздуха должна опуститься ниже точки росы. Поступление водяного пара в воздух над сушей ограничено, поэтому состояние насыщения в атмосфере достигается при изменении температуры. При понижении температуры воздуха ниже температуры точки росы излишек пара, превышающий упругость насыщения, конденсируется или сублимируется.

Понижение температуры воздуха ниже точки росы возможно вследствие охлаждения деятельной поверхности излучением и последующего охлаждения прилегающих слоев воздуха, соприкосновения теплого воздуха с холодной деятельной поверхностью, смешивания двух масс воздуха, имеющих разную температуру, поднятия воздуха вверх (см. гл. 4).

В чистом воздухе капельки воды (конденсат) начинают образовываться только при 6...8-кратном превышении упругости насыщения (зародышевые капли в этом случае возникают в результате объединения молекул водяного пара в комплексы). Такого перенасыщения в атмосфере не бывает, но зато в ней всегда имеется большое число различных гигроскопических частиц, являющихся активными ядрами конденсации (сублимации). Поэтому сгущение водяного пара в атмосфере начинается уже при влажности воздуха, близкой к 100%.

**Продукты конденсации и сублимации на земной поверхности и на наземных предметах.** В зависимости от температуры поверхности, а также температуры и влажности воздуха могут образовываться роса, иней, изморозь.

*Роса* — мелкие капли воды, образующиеся на поверхности почвы, на растениях и на других предметах при температуре точки росы выше 0 °С. Роса образуется вследствие радиационного охлаждения деятельной поверхности в ясные тихие ночи (может выпадать и с вечера), когда температура поверхности и прилегающего к ней воздуха опускается до точки росы и сконденсировавшийся пар выделяется на поверхности в виде капелек воды.

Роса является некоторым ресурсом влаги для растений, особенно важным в засушливых районах. В умеренных широтах за одну ночь может образоваться 0,1...0,5 мм (0,1...0,5 л/м<sup>2</sup>) осадков; годовое количество влаги, выделяемое росой, составляет 10...30 мм (100...300 м<sup>3</sup>/га). Образование росы сопровождается выделением скрытой теплоты парообразования, в результате чего процесс выхлаживания замедляется и почва предохраняется от заморозков.

Однако в период уборки урожая роса затрудняет работу комбайнов, так как солома и зерно вследствие большой гигроскопичности становятся влажными, зерно плохо вымолачивается, солома забивает барабаны молотилки комбайна. Сильные, долго не спадающие росы во время созревания зерна, а особенно в фазу полной спелости вызывают «стекание» зерна. Образующиеся в этот период в зерне водорастворимые осмотически активные вещества провоцируют поступление воды в зерно через трещины с его увлажненной поверхности. Это стимулирует гидролитический распад запасных питательных веществ, которые в конечном счете истекают из зерна (это доказано присутствием сахара в стекающей с колосков воде) или расходуются в качестве дыхательного материала. В первом случае на выделив-

шейся влаге, так называемой медвяной росе, поселяются плесневелые грибы, вызывая потемнение зерен, образование пленок и ухудшение товарных качеств зерна. Кроме того, уменьшается биомасса сухого вещества зерновки, появляется щуплость зерна. Обильные росы могут спровоцировать и появление болезней у растений.

В условиях, аналогичных выпадению росы, но при снижении температуры на поверхности предметов ниже 0 °С путем сублимации образуется *иней*, состоящий из ледяных кристаллов. Этот процесс происходит преимущественно при инверсии температуры воздуха.

*Изморозь* — отложение льда на ветвях деревьев, проводах и т.п. при тумане в результате сублимации водяного пара (кристаллическая изморозь) или намерзания капель переохлажденного тумана (зернистая изморозь).

*Кристаллическая* изморозь состоит из кристаллов льда, нарастающих на наветренной стороне при слабом ветре и температуре ниже –15 °С. Длина кристалликов обычно не превышает 1 см, но может достигать и нескольких сантиметров. Кристаллическая изморозь имеет вид пушистых гирлянд, легко осыпающихся при ветре.

*Зернистая* изморозь — снеговидный, «рыхлый» лед, нарастающий с наветренной стороны предметов в туманную, умеренно морозную (до –10 °С), преимущественно ветреную погоду, особенно в горах. Толщина слоя отложения ее может достигать нескольких десятков сантиметров (рис. 6.3). В таких случаях это опасное метеорологическое явление, так как ломаются ветки деревьев, рвутся провода и т.д.

**Туманы.** Скопление продуктов конденсации или сублимации (или тех и других вместе), взвешенных в воздухе непосредственно над поверхностью Земли, образует туманы.

В зависимости от причин образования туманы делят на *туманы охлаждения* и *туманы испарения*, первые из которых абсолютно преобладают.

Охлаждение может происходить при разных условиях. Во-первых, воздух может перемещаться с более теплой подстилающей поверхности на более холодную и охлаждаться вследствие этого. Это *адвективные туманы*. Во-вторых, воздух может охлаждаться потому, что сама подстилающая поверхность под ним охлаждается радиационным путем. Это *радиационные туманы*.

Туманы испарения возникают чаще всего осенью и зимой (или летом ночью) в холодном воздухе над более теплой водной поверхностью.

Туманы имеют как положительное, так и отрицательное значение для растений. Они могут быть полезны в период поздневесенних и раннеосенних заморозков, так как сдерживают выхолаживание деятельной поверхности. В другие периоды жизни растений туманы, особенно частые, малоблагоприятны. В фазу цветения растений они





Рис. 6.3. Отложение зернистой изморози на метеоприборах, установленных в горах

задерживают вызревание пыльцы, препятствуют лёту насекомых, что снижает продуктивность опыления и образования завязи. В период формирования нижнего междоузлия озимых и яровых хлебов они обуславливают крупноклеточное строение ткани, вследствие чего может снизиться устойчивость растений к полеганию.

Сильные туманы, образующиеся в период формирования и дозревания плодов сельскохозяйственных культур, ухудшают их лежкость при хранении и снижают качество, а образующиеся во время уборки зерновых задерживают дозревание хлебов и, как и роса, затрудняют проведение уборочных работ. Туманы, так же как и роса, могут вызывать «стекание» зерна и стимулировать развитие болезней у растений. Далее приведена продолжительность увлажнения листьев пшеницы и интенсивность поражения ее линейной ржавчиной (по Пельтье):

Продолжительность увлажнения, ч	Число зараженных растений, %
2	0
6	17
12	28
16	33
20	59
24	89
30	98
36	100

Содержащиеся в воздухе капли воды и кристаллы льда уменьшают его прозрачность, поэтому дальность видимости в тумане может быть очень малой. Если она оказывается больше 1 км, но меньше 10 км, то такое явление называют туманной дымкой или просто *дымкой*.

**Облака.** Скопление продуктов конденсации и сублимации в свободной атмосфере образует облака. Размеры облачных элементов — капелек и кристалликов — настолько малы, что длительное время остаются взвешенными в воздухе или даже увлекаются восходящими потоками вверх.

Облака переносятся воздушными течениями. Если относительная влажность в окружающем воздухе убывает, то облака испаряются.

По своему составу облака делят на три группы:

1) водяные облака, состоящие из капелек. Они могут существовать и при небольших (до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) отрицательных температурах. В этом случае капельки находятся в переохлажденном состоянии, что вполне обычно в атмосферных условиях;

2) ледяные облака, состоящие только из кристалликов при достаточно низких температурах (ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ );

3) смешанные облака, состоящие из переохлажденных капелек и кристалликов.

При значительном числе капелек и кристалликов в единице объема облачного воздуха элементы так малы, что содержание воды в жидком виде в облаках невелико: в водяных облаках  $0,2\dots 5\text{ г/м}^3$ , в кристаллических — сотые и тысячные доли грамма на  $1\text{ м}^3$ .

В зависимости от условий образования облака разделяют следующим образом:

- *внутримассовые*, возникающие внутри однородной воздушной массы. Подъем воздуха и его охлаждение до состояния насыщенности происходят в результате процессов тепловой конвекции и динамической турбулентности. Иногда облака этой группы появляются в связи с охлаждением воздуха от подстилающей поверхности или из-за волновых движений на поверхности слоя инверсии;
- *фронтальные*, образующиеся при восходящих движениях больших воздушных масс на атмосферных фронтах (см. разд. 10.3);
- *орографические*, возникающие на наветренной стороне при вынужденном подъеме воздушных масс по склонам гор (рис. 6.4).

Высота облаков, их строение связаны с высотой уровня конденсации, нулевой температуры, оледенения. Нижняя граница облаков обычно совпадает с уровнем конденсации. Между этим уровнем и уровнем нулевой температуры облака состоят из капель или тающих снежинок. Выше, до уровня замерзания, облака состоят из переохлажденных капель и снежинок, а выше уровня оледенения — из кристалликов льда. Верхняя граница облаков определяется высотой подъема воздуха.



Рис. 6.4. Орографическое облако (вершина курится)

Многообразие процессов, способствующих образованию облаков, обуславливает существование большого числа их форм. При метеорологических наблюдениях принята морфологическая (по внешнему виду) международная классификация облаков, включающая четыре семейства и десять родов (форм).

**А. Семейство облаков верхнего яруса** (высота основания — более 6 км): перистые, *Cirrus* (циррус, Ci); перисто-кучевые, *Cirrocumulus* (цирокумулюс, Cc); перисто-слоистые, *Cirrostratus* (цирростратус, Cs).

**Б. Семейство облаков среднего яруса** (высота основания — 2...6 км): высоко-кучевые, *Alto cumulus* (альтокумулюс, Ac); высоко-слоистые, *Altostratus* (альтостратус, As).

**В. Семейство облаков нижнего яруса** (высота основания — менее 2 км): слоистые, *Stratus* (стратус, St); слоисто-кучевые, *Stratocumulus* (стратокумулюс, Sc); слоисто-дождевые, *Nimbostratus* (нимбостратус, Ns).

**Г. Семейство облаков вертикального развития** (нижнее основание — на высоте 0,5...1,5 км, вершины могут достигать верхнего яруса и даже тропопаузы): кучевые, *Cumulus* (кумулюс, Cu); кучево-дождевые, *Cumulonimbus* (кумулонимбус, Cb).

Формы облаков подразделяют по внешнему виду, плотности, окраске, оптическим явлениям.

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

**Облака верхнего яруса.** На вид это белые, полупрозрачные облака, состоящие из ледяных кристаллов.

**Перистые** облака выглядят, как отдельные нити, гряды или полосы волокнистой структуры (рис. 6.5). Осадков не дают.

**Перисто-кучевые** облака представляют собой гряды или пластины, имеющие ясно выраженную структуру из очень мелких хлопьев, завитков (барашков). Часто похожи на рябь на поверхности воды или песка. Осадков также не дают.

**Перисто-слоистые** облака — тонкая прозрачная белесоватая пленка, частично или полностью закрывающая небосвод. В них иногда различается волокнистая структура. Эти облака часто дают оптические явления, называемые *галё*, — светлые, слегка окрашенные в радужные цвета (красный — вовнутрь) круги вокруг Солнца или Луны. Осадки из них поверхности земли не достигают.

**Облака среднего яруса.** **Высоко-кучевые** облака состоят из мельчайших капелек, часто переохлажденных. Белые, иногда сероватые или синеватые в виде волн, куч, гряд, хлопьев. Между ними видны просветы неба (рис. 6.6), но иногда элементы могут сливаться. Для них характерно оптическое явление *венцы* — светлые ореолы, непосред-



Рис. 6.5. Перистые когтевидные облака — *Cirrus uncinus* (Ci unc.)



Рис. 6.6. Высоко-кучевые просвечивающие облака — *Altostratus translucidus* (Ac trans.)

ственно примыкающие к диску Солнца или Луны. Осадков эти облака не дают.

*Высоко-слоистые* облака — смешанные по составу облака. Светлая или синеватая однородная пелена, слегка волнистая. Солнце и Луна могут просвечивать, как сквозь матовое стекло. Летом осадки из высоко-слоистых облаков поверхности Земли, как правило, не достигают. Зимой из них часто выпадает мелкий снег.

*Облака нижнего яруса. Слоистые облака* — это однородный на вид серый слой капельного строения (при достаточно низких температурах в них появляются и кристаллики). Возможно выпадение слабых осадков из этих облаков.

*Слоисто-кучевые* облака в большинстве случаев состоят из мелких капелек. Серые крупные гряды, волны, кучи или пластины.

Могут быть разделены просветами (рис. 6.7) или сливаться в сплошной покров. Иногда дают слабые осадки.

*Слоисто-дождевые* облака по составу смешанные. Однообразный темно-серый сплошной слой, под которым часто наблюдают бесформенное скопление низких разорванных облаков. Эти облака всегда дают осадки.

*Облака вертикального развития. Кучевые* облака состоят из капелек. Это отдельные облака, как правило, плотные, с резко очерченными контурами, при освещении Солнцем ярко-белые (рис. 6.8). Осадки из этих облаков обычно не выпадают, за исключением тропиков.



Рис. 6.7. Слоисто-кучевые просвечивающие облака — Stratocumulus translucidus (Sc trans.)



Рис. 6.8. Кучевые облака хорошей погоды — Cumulus humilis (Cu hum.)

*Кучево-дождевые* облака — плотные, мощные кучевообразные массы, очень сильно развитые по вертикали, смешанные по составу (рис. 6.9). С ними всегда связано выпадение осадков.



Рис. 6.9. Кучево-дождевое облако — Cumulonimbus (Cb)

Значение облаков состоит в том, что они задерживают часть солнечной радиации и тем самым влияют на световой и тепловой режимы деятельной поверхности, препятствуют тепловому излучению Земли, из них выпадают осадки.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите погодные факторы, влияющие на скорость испарения с деятельной поверхности.
2. Что общего и в чем различие между испарением и испаряемостью?
3. Какими приемами можно регулировать испарение с сельскохозяйственных полей и в чем механизм их действия?
4. Как измеряют испарение с поверхности почвы?
5. Перечислите метеорологические величины, влияющие на транспирацию растений.
6. Что общего и в чем различие между конденсацией и сублимацией водяного пара? При каких условиях они происходят?
7. Назовите продукты конденсации и сублимации водяного пара на деятельной поверхности и в приземном слое воздуха.
8. Каково значение этих продуктов для формирования урожая?
9. Как образуются облака? Их генетическая классификация.
10. Международная классификация облаков.
11. Какое значение имеет облачность в формировании условий роста и развития растений?

**7.1. ВИДЫ И ТИПЫ ОСАДКОВ**

При определенных условиях облачные элементы (капельки, кристаллики) настолько укрупняются, что восходящие токи воздуха уже не могут поддерживать их во взвешенном состоянии, и они выпадают на Землю в виде осадков. Укрупнение элементов происходит частично в результате взаимного слияния капелек, но главным образом путем сублимационного роста кристалликов за счет испарения переохлажденных капель воды. Поэтому для выпадения обильных осадков необходимо, чтобы облако по составу было смешанным.

Атмосферные осадки по фазовому состоянию делят на жидкие, твердые и смешанные. Вид осадков зависит от температуры воздуха.

К *жидким осадкам* относятся дождь (диаметр капель 0,5...7 мм) и морось (капельки диаметром менее 0,5 мм, находящиеся как бы во взвешенном состоянии, так что падение их почти незаметно).

*Твердые осадки* имеют разнообразные формы: снег, снежная крупа, ледяная крупа, снежные зерна, ледяной дождь, град.

К *смешанным осадкам* относится мокрый снег (осадки в виде тающего снега или смеси снега с дождем).

По характеру выпадения осадки подразделяют на обложные, ливневые и морозящие. Тип осадков определяется родом облаков.

*Обложные осадки* (дождь, снег, мокрый снег, ледяной дождь) выпадают преимущественно из слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков в течение длительного времени непрерывно или с небольшими перерывами и охватывают обширную территорию. Наибольший процент в общем количестве осадков, выпадающих в умеренных широтах, составляют именно обложные осадки. Для них характерна равномерность выпадения, поэтому в теплое время они хорошо впитываются почвой.

*Ливневые осадки* (дождь, град, снежная и ледяная крупа, снег, мокрый снег) выпадают из кучево-дождевых облаков, обычно непродолжительное время. Эти осадки охватывают сравнительно небольшую территорию, нередко проходят «полосой» и сопровождаются сильным ветром. Сильные ливневые осадки теплого периода (ливень, град) наносят большой ущерб народному хозяйству: смывают почву, способствуют образованию оврагов, разрушают дороги, повреждают посевы, сады и т.д.



*Морозящие осадки* (морось, снежные зерна) выпадают из слоистых облаков. Капли мороси не образуют кругов при падении на водную поверхность.

Количество выпавших осадков измеряется толщиной слоя воды в миллиметрах или сантиметрах, который образовался бы на горизонтальной поверхности при условии, что выпавшие осадки не просачивались бы в почву, не стекали и не испарялись.

Слой осадков высотой 1 мм на площади 1 га соответствует объему воды в  $0,001 \text{ м} \cdot 10\,000 \text{ м}^2 = 10 \text{ м}^3$ , или массе ее в 10 т. Следовательно, коэффициент для пересчета количества выпавших осадков, выраженного в миллиметрах, в тонны воды на 1 га равен 10.

Важной характеристикой осадков является их *интенсивность*, т.е. количество осадков, выпадающих за единицу времени, обычно за 1 мин. На метеорологических станциях количественно определяется интенсивность только жидких осадков. Категории осадков в зависимости от количества и продолжительности по одной из классификаций приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Категории жидких осадков в зависимости от их количества и продолжительности выпадения (по В. Цоуфалу)**

Категория	Продолжительность выпадения, ч		
	1	2	3
	Количество осадков, мм		
Слабый дождь	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 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...11,0
Очень сильный дождь	10,1...15,0	14,1...21,0	11,1...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	≥ 58,1	≥ 64,1	≥ 72,1

Кроме того, интенсивность осадков определяют качественно, разделяя их визуально на слабые, умеренные и сильные.

Атмосферные осадки представляют собой слабые растворы солей. Общая минерализация осадков находится в пределах от 3...4 до 50...60 мг/л. В условиях умеренного климата осадки в течение года приносят в почву 50...150 кг/га различных веществ. Одной из основных примесей в осадках континентального происхождения являются сульфиды, а в осадках морского происхождения — хлориды. С осадками в почву вносятся и соединения азота (3...4 кг/га в год), одного из основных элементов минерального питания растений.

## 7.2. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД ОСАДКОВ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Суточный ход осадков* определяется ходом и видом (формой) облаков. Поэтому он очень сложен, и даже в многолетних средних значениях в нем нередко не обнаруживается никакой ясной закономерности. Над сушей различают два типа суточного хода осадков: континентальный и морской, или береговой, которыми, однако, не ограничивается все разнообразие явлений, связанных с местными условиями.

В *континентальном типе* наблюдаются два максимума и два минимума выпадения осадков. Главный максимум приходится на послеполуденные часы, когда над континентом наиболее развита конвективная облачность. Второй, более слабый максимум наблюдается рано утром, когда наибольшего развития достигают облака слоистых форм, что связано с ночным охлаждением деятельной поверхности и воздуха. Главный минимум осадков наблюдается ночью, а второй — перед полуднем.

Для *морского (берегового) типа* характерен ночной максимум осадков, минимум приходится на послеполуденные часы. Этот тип суточного хода летом выражен лучше, чем зимой.

В некоторых районах суточный ход зимой относится к береговому типу, а летом — к континентальному.

В *годовом ходе осадков* различают четыре основных типа: экваториальный, тропический, субтропический и тип умеренных широт.

В *экваториальном поясе* ( $10^\circ$  с.ш. ...  $10^\circ$  ю.ш.) выпадает наибольшее количество осадков: в среднем по поясу годовая сумма составляет около 2000 мм, местами на островах Тихого океана — 5000...6000 мм. Здесь наблюдаются два максимума осадков — после весеннего и осеннего равноденствия и два минимума — после летнего и зимнего солнцестояния.

В *тропическом поясе* (между  $10$  и  $30^\circ$  широты) как в Северном, так и в Южном полушарии имеется один период дождей в течение четырех летних месяцев, за который в среднем выпадает около 1000 мм, в остальные месяцы осадков почти не бывает.

В *субтропических поясах* (между  $30$  и  $40^\circ$  широты) годовые суммы осадков варьируют в очень больших пределах: на склонах Гималаев — 12 700 мм, в пустыне — менее 50 мм. Средняя по поясу годовая сумма составляет 500 мм. Для этого пояса типично неравномерное выпадение осадков по сезонам. Зима в этой зоне менее засушлива, чем лето, максимум осадков выпадает весной.

В *умеренных широтах* ( $40$ ... $60^\circ$  широты) над континентами максимум осадков приходится на лето, минимум — на зиму, над океанами — наоборот. В глубине континентов здесь выпадает 300...500 мм осадков в год, а над океанами — 750...1000 мм.

В распределении осадков по земному шару, как и для других метеоэлементов (температуры, давления и др.), можно отметить определенную зональность, которую, правда, нарушают неравномерность распределения суши и воды, орография и другие неоднородности подстилающей поверхности.

Наибольшее количество осадков на Земле выпадает на юго-западном склоне Гималаев в Индии, на Гавайских островах и в некоторых районах тропической Африки, где в среднем за год количество осадков составляет более 10 000 мм. В Черрапунджи (Индия) за год выпадает 12 700 мм, а в 1861 г. их выпало 23 200 мм. Самые сухие места на Земле — это пустыни. В сухой долине Хальфа в Аравии за 10 лет (1891–1900) было всего 22 дня с дождем, а сумма осадков составила менее 0,1 мм. В верховьях Нила, на побережье Чили и Перу, в Калифорнии, в пустынях Австралии иногда в течение нескольких лет подряд выпадает осадков около 0,5 мм в год.

В Российской Федерации наибольшее количество осадков выпадает на южных склонах Главного Кавказского хребта и на Черноморском побережье, а также в Приморье (1000...1500 мм). Годовые суммы осадков на европейской части России убывают с северо-запада (650...700 мм) на юго-восток (250...300 мм) (Астраханская область и Калмыкия).

Соотношение сумм осадков теплого и холодного периодов на территории России приведено в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Среднее многолетнее количество осадков в некоторых районах России, мм

Станция	Сумма осадков за год	Период, мес.		Годовой	
		Холодный (11...03)	Теплый (04...10)	Максимум	Минимум
Вологда	529	132	397	804	403
Москва	627	188	429	834	272
Новосибирск	406	131	275	512	188
Владивосток	831	121	710	1076	371

На большей части территории России сумма осадков теплого периода (апрель—октябрь) больше суммы осадков холодного периода (ноябрь—март). Превышение летних сумм осадков над зимними увеличивается с запада на восток, и в районах Забайкалья и Дальнего Востока суммы осадков теплого периода более чем в 4 раза превышают суммы осадков холодного периода. Это соотношение существенно влияет на сельскохозяйственное производство, обуславливая лучшую влагообеспеченность растений в вегетационный период.

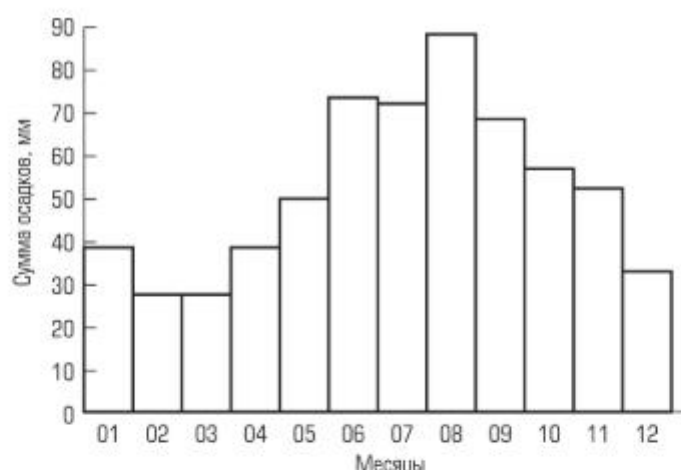


Рис. 7.1. Годовой ход осадков (г. Мичуринск)

Графически годовой ход осадков можно представить в виде графика — *гистограммы*, которая состоит из смежных прямоугольников. Основания прямоугольников — месяцы, а высоты — суммы осадков (рис. 7.1).

### 7.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСАДКОВ

Для измерения количества жидких и твердых осадков на метеорологических станциях и постах применяют *осадкомер Третьякова О-1* (рис. 7.2). В комплект осадкомера входят два металлических ведра, планочная защита, предохраняющая осадки, попавшие в ведро, от выдувания, и измерительный стакан. Верхний край ведра должен находиться на высоте 2 м от деятельной поверхности.

*Дождемер полевой М-99* — стеклянный стакан с расширением в верхней части (рис. 7.3). На стенке дождемера нанесены деления, каждое из которых соответствует 1 мм слоя выпавших осадков. Для уменьшения испарения в стакан вставляют воронку. Применяют для измерения жидких осадков в агроценозах.

Для непрерывной регистрации количества выпадающих осадков и интенсивности дождя применяют *плювиограф Г1-2* (рис. 7.4). По записи на ленте определяют время начала и окончания дождя, количество выпавших осадков и их интенсивность.

Для измерения жидких осадков, которые выпадают на уровне почвы, используют *почвенный дождемер ГР-28*, в комплект которого входят ведро и измерительный стакан.

*Осадкомер суммарный М-70* предназначен для сбора и последующего измерения количества осадков, выпавших в течение длитель-



Рис. 7.2. Осадкомер  
Третьякова О-1



Рис. 7.3. Дождемер  
полевой М-99

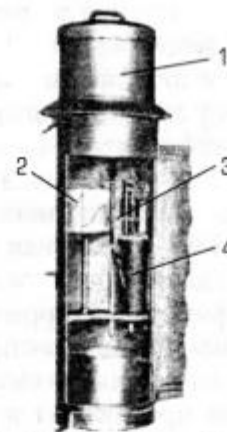


Рис. 7.4. Плувиограф П-2:  
1 — приемный сосуд;  
2 — барабан с лентой;  
3 — стрелка с пером;  
4 — поплавковая камера

ного времени в любое время года; устанавливают его, как правило, в ненаселенных труднодоступных районах. Состоит из приемного резервуара и измерительного стакана. Для предохранения осадков от испарения в резервуар наливают техническое масло.

В связи с техническим перевооружением гидрометеорологической службы для измерения осадков начинают применять радиолокационные устройства. С помощью радиолокатора можно получить данные о распределении осадков и их интенсивности на площади в радиусе 80...100 км.

#### 7.4. ЗНАЧЕНИЕ ОСАДКОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Осадки — основной источник влаги для сельскохозяйственных полей. Непосредственное воздействие осадков на растения может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от фазы развития растений, их состояния, интенсивности и продолжительности самих осадков.

Например, для формирования завязи плодовых культур и винограда благоприятны слабые кратковременные дожди после цветения. Обильные дожди в сочетании с ветром вызывают преждевременное опадение завязей и плодов.

Частые интенсивные дожди в период цветения всех сельскохозяйственных культур смывают пыльцу, препятствуют лёту насекомых, что значительно ухудшает условия опыления, приводит к преждевременному опадению цветков.

Продолжительные дожди при значительных запасах влаги в почве (более 125 мм в метровом слое) в период созревания хлебов могут привести к «стеканию» зерна.

В период уборки дождливая погода способствует прорастанию зерна в валках, а порой и на корню.

В то же время длительное отсутствие осадков обуславливает засуху. Даже в районах достаточного увлажнения отсутствие дождей в течение 8...10 дней в июне—августе вызывает недостаток влаги в пахотном слое почвы. Более длительное отсутствие осадков при высокой температуре приводит к пересыханию пахотного слоя почвы. Растения в этих условиях замедляют накопление органического вещества. Они начинают увядать, а затем засыхают листья и органы плодоношения. У зерновых культур образуется щуплое зерно, у плодовых опадают плоды.

Колебания урожая сельскохозяйственных культур в различных районах России в значительной степени связаны с колебаниями осадков вегетационного периода. По исследованиям В.М. Обухова, Е.К. Зойдзе, начиная с фазы кущения до конца фазы колошения число дней с дождем и количество осадков дают положительные коэффициенты корреляции с урожайностью.

Режим осадков определяет и способы уборки зерновых, т.е. раздельное или прямое комбайнирование. В степных районах, где уборка происходит в условиях преимущественно сухой погоды, хлебные злаки скашивают в валки, которые после просыхания (через 4...5 дней) обмолачивают. В Нечерноземной зоне, где уборку нередко приходится проводить при дождливой погоде, принято прямое комбайнирование с последующей просушкой.

Во многих районах зоны от количества осадков (конец августа — середина сентября) также зависит характер обработки почвы под озимые: если осадков мало — лишь дискование, много — вспашка за две недели до посева. Метеоусловия (дождливая осень) часто не дают возможности проводить здесь зяблевую обработку почвы.

Таким образом, учет режима осадков необходим для обоснования мелиоративных мероприятий, технологии возделывания сельскохозяйственных культур, определения сроков и способов их уборки.

Одним из негативных последствий загрязнения тропосферы (см. разд. 1.3) являются кислотные осадки. *Кислотные осадки* — это в основном серная и азотная кислоты, образующиеся при растворении в воде диоксидов серы и азота и выпадающие на поверхность земли вместе с дождем, снегом, туманом или пылью. Такие осадки большей частью наблюдаются в промышленных районах, однако с адвекцией воздушных масс могут переноситься на большие расстояния от источника. Кислотные осадки вызывают повреждения листьев, плодов, а часто и гибель растения.

## 7.5. АКТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОБЛАКА

Проблема искусственного осаждения осадков имеет большое значение для сельского хозяйства в районах с недостаточным естественным увлажнением. Не меньшее значение имеет воздействие на кучево-дождевые облака с целью предотвращения сильных ливней, градобитий.

Для образования и выпадения интенсивных осадков необходимы определенные условия: сильные восходящие движения воздуха, большая водность и вертикальная мощность облака, его коллоидная неустойчивость, зависящая от наличия в нем твердой фазы воды, и т.д. Изучив все эти факторы, исследователи пришли к выводу, что искусственное вмешательство может дать положительный результат только в том случае, если в атмосфере уже имеются необходимые условия для образования осадков и недостает только процесса, стимулирующего укрупнение облачных элементов. В России и за рубежом проведено много опытов по искусственному вызыванию осадков и получены существенные результаты.

Наиболее эффективный способ осаждения осадков — воздействие на переохлажденные капли облака путем введения в него мелких кристаллов твердой углекислоты или йодистого серебра, которые становятся ледяными зародышами (ядрами конденсации). Они начинают быстро расти за счет конденсации и сублимации водяного пара на их поверхности и в результате турбулентного перемешивания распространяются на несколько километров от места введения. Для того чтобы кристаллы выросли до значительных размеров и началось выпадение осадков, требуется ввести в облако определенное количество реагента. По данным Е.К. Федорова, при введении 200 г углекислоты на 1 км<sup>3</sup> переохлажденного облака из жидкого состояния в твердое переходит до 1000 т воды. Вводя в переохлажденные облака слоистых форм указанные реагенты, можно в холодный период года увеличить суммы осадков на 12...15%. Летом, воздействуя на облака конвективного происхождения, получали до 10...15% дополнительной влаги.

При воздействии на переохлажденные облака из них всегда выпадают осадки, но при этом в осадки переходит лишь влага, имеющаяся в облаке на данный момент. А такие осадки обычно невелики и не могут дать существенного экономического эффекта.

Для рассеивания облаков, а также вызывания осадков из переохлажденных (теплых) облаков применяется несколько другая методика. Например, в тропических районах в кучевые облака с самолета разбрызгиваются капли воды, которые, сливаясь с каплями самого облака, вырастают до размеров, достаточных для выпадения дождя.

При естественном образовании осадков облако или облачная система выделяет влаги в 10...20 раз больше, чем в них содержится на данный момент. Следовательно, облако является не просто резервуаром, в котором атмосферная влага собирается и затем выпадает в виде осадков, а скорее генератором, который в течение некоторого времени преобразует водяной пар, содержащийся в окружающем воздухе, в осадки. Поэтому исследования «работы» облака как генератора осадков являются наиболее перспективными для получения дополнительных осадков, что имеет огромное практическое значение для сельского хозяйства.

Большой производственный эффект дает воздействие реагентами на градовые облака. Это позволяет предотвратить выпадение града в южных районах, где возделывают ценные цитрусовые культуры и растут виноградники (см. разд. 12.1.3).

## 7.6. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ

Снег, выпадающий при отрицательных температурах на деятельную поверхность, образует *снежный покров*.

Первым обратил внимание на особенности снежного режима нашей страны А.И. Воейков. В своей работе «Снежный покров, его влияние на почву, климат и погоду и способы исследования» великий климатолог установил значение снежного покрова как климатообразующего фактора, его физические и географические черты и режим: образование и разрушение, плотность и запасы воды, географическое распределение.

В среднем годовом ходе снег в России накапливается с сентября до февраля или марта; с апреля снег быстро убывает, исчезая повсюду не позднее мая (кроме Арктики и высокогорных районов, где снег сохраняется круглый год). В основных сельскохозяйственных районах снег лежит 4...6 мес., южнее широты 45° снежный покров неустойчив.

Высота снежного покрова увеличивается от 10 см на юге до 90...100 см в Предуралье, Центральной Сибири и на Камчатке. На большей части территории России средняя из максимальных высот снежного покрова за зиму превышает 50 см.

**Наблюдение за снежным покровом.** Первое появление снежного покрова для большинства районов России совпадает с устойчивым переходом средней суточной температуры воздуха через 0 °С. С этого момента на метеорологических станциях ежедневно измеряют *высоту снежного покрова* по трем постоянным снегомерным рейкам (затем вычисляют среднюю высоту), определяют *степень покрытия снегом* окружающей территории в баллах (от 0 до 10), качественно оценивают *равномерность залегания снежного покрова* (равномерно, с оголенными местами и т.д.).



В последний день декады на полях с озимыми и многолетними травами проводят *снегомерные съемки*. На маршруте длиной 1 км через каждые 10 м переносной снегомерной рейкой измеряют высоту снежного покрова, а через каждые 100 м определяют *плотность снега*. Для этой цели предназначен *походный весовой снегомер ВС-43* (рис. 7.5), состоящий из металлического цилиндра и весов (безмена). Цилиндром берут пробу снега, взвешивают и рассчитывают плотность ( $\text{г/см}^3$ ):

$$\rho = m/V = 5n/50h = n/10h, \quad (7.1)$$

где  $m$  — масса снега, г;  $V$  — объем снега,  $\text{см}^3$ ; 5 — цена деления шкалы весов, г;  $n$  — число делений, отсчитанных по шкале; 50 — площадь сечения цилиндра,  $\text{см}^2$ ;  $h$  — высота снега по шкале цилиндра, см.

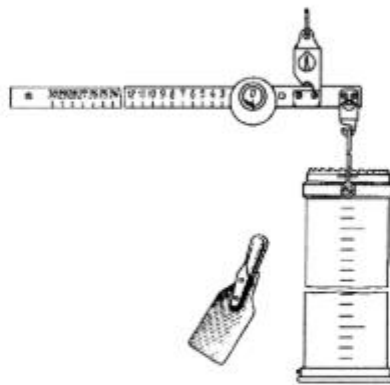


Рис. 7.5. Весовой снегомер ВС-43

*Плотность снега* изменяется от  $0,01 \text{ г/см}^3$  (свежевывавший снег) до  $0,6 \text{ г/см}^3$  (слежавшийся снег, начавший таять), в зимние месяцы средняя плотность снежного покрова составляет около  $0,2 \text{ г/см}^3$ .

Плотность снега — важная характеристика снежного покрова. От нее зависит, во-первых, теплопроводность снега: чем больше плотность, тем больше теплопроводность. При плотности снега  $0,2 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$  коэффициент теплопроводности составляет  $0,13 \dots 0,25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . Таким образом, коэффициент теплопроводности снега почти в 10 раз больше, чем у неподвижного воздуха, но в 10 раз меньше, чем у почвы (см. табл. 3.1).

Во-вторых, от плотности в значительной степени зависит *запас воды в снежном покрове*, т.е. какой слой воды (в мм) образуется при полном таянии снежного покрова:

$$Z = 10h_{\text{ср}}\rho_{\text{ср}}, \quad (7.2)$$

где  $h_{\text{ср}}$  — средняя высота снега на маршруте, см;  $\rho_{\text{ср}}$  — средняя плотность снега, г/см<sup>3</sup>.

В сельскохозяйственной практике обычно все расчеты ведутся в кубических метрах или тоннах на 1 га. Тогда

$$Z = 100h\rho. \quad (7.3)$$

При средней плотности и высоте снежного покрова 30 см, например, на площади 1 га содержится 750...900 м<sup>3</sup> (т) воды.

Во время снегосъемки в местах взятия проб отмечают также наличие ледяных корок. Особенно важно установить присутствие притертой ледяной корки, образующейся на поверхности почвы.

Запасы воды в снеге определяют также гамма-снегомером и некоторыми другими приборами с применением радиоизотопов по радиоактивному излучению: ослабление интенсивности излучения после прохождения через снежный покров обычно пропорционально количеству воды в снеге. По этому же принципу определяют запас воды в снеге с искусственных спутников Земли, используя естественную радиоактивность нашей планеты.

Сведения о запасах воды в снежном покрове широко используются в сельском хозяйстве при определении сроков проведения полевых работ, при расчетах оптимального количества удобрений, общего объема и последовательности работ на орошаемых (поливных) землях, в прогнозе ожидаемого урожая и т.д. Запас воды в снежном покрове — важный показатель водоносности рек, особенно в зонах орошаемого земледелия.

**Значение снежного покрова для сельского хозяйства.** Идея А.И. Воейкова о большом значении снежного покрова в земледелии получила развитие в трудах Г.Д. Рихтера, Н.Н. Галахова, Р.Э. Давида, А.М. Шульгина и др.

Снежный покров является решающим условием почвенного климата. В обстоятельной монографии, посвященной значению снежного покрова в природе, Г.Д. Рихтер указывает, что снежная прослойка как бы разрывает теплооборот между почвой и воздухом на два самостоятельных круга. Воздух над снегом и почва под снегом тем больше отличаются друг от друга по температурному режиму, чем выше снежный покров.

Снежный покров обладает слабой теплопроводностью, благодаря чему почва, покрытая снегом, защищена от резких колебаний температуры, а зимующие культуры — от вредного воздействия низких температур. При этом влияние снега тем сильнее, чем он рыхлее и больше его высота. Например, при высоте снежного покрова более 30 см суточная амплитуда колебаний температуры в верхних слоях почвы практически равна нулю, т.е. ход температуры в течение зимы более равномерный, чем на оголенных участках.



Рис. 7.6. Связь минимальной температуры почвы на глубине 3 см с минимальной температурой воздуха при различной высоте снежного покрова (по А.М. Шульгину)

Кроме того, температурный режим почвы под снежным покровом характеризуется значительно меньшими абсолютными отрицательными температурами (рис. 7.6).

Пользуясь номограммой, по температуре воздуха и высоте снежного покрова можно определить минимальную температуру почвы на глубине узла кушения (3 см). А зная критическую температуру для данной сельскохозяйственной культуры и наблюдающуюся в среднем или ожидаемую по прогнозу минимальную температуру воздуха, можно определить наименьшую высоту снежного покрова, необходимую для защиты культуры от низких температур воздуха. Например, при температуре воздуха  $-30^{\circ}\text{C}$  и высоте снежного покрова 10 см температура почвы на глубине 3 см равна  $-16^{\circ}\text{C}$ , а при высоте снега 40 см — только  $-9^{\circ}\text{C}$ .

При оттепелях снежный покров вследствие плохой теплопроводности препятствует прогреванию почвы и тем самым предохраняет растения от преждевременного пробуждения. В то же время весной он задерживает оттаивание притертой ледяной корки и верхних слоев почвы, что замедляет начало возобновления вегетации озимых.

Снежный покров уменьшает глубину промерзания почвы. Одновременно установлено, что снежный покров высотой более 30 см при длительном залегании (более месяца) в теплые зимы приводит к выпреванию озимых и многолетних трав.

Снежный покров аккумулирует осадки холодного времени года, составляющие на территории России 20...30% годовой суммы, и весной при таянии часть воды накапливается в почве. Накопление и

сохранение влаги на полях зависят от высоты и плотности снежного покрова, глубины и степени промерзания почвы, наличия притертой ледяной корки. Чем выше снежный покров и больше его плотность, тем больше запас воды, содержащийся в нем. Если к моменту таяния снега почва оказывается талой, то значительная часть воды идет на насыщение почвы влагой, а меньшая — на сток. Если же почва в это время еще промерзшая, то основная часть воды уходит на сток даже при незначительном уклоне поля (1...3°). Наличие на почве ледяной корки препятствует проникновению в нее талых вод.

**Снежные мелиорации.** Чтобы создать оптимальные условия для зимующих культур и увеличить запасы влаги, целесообразно регулировать высоту снежного покрова с помощью снежных мелиораций. Основным их видом в степной зоне, где снежный покров обычно невысок (менее 30 см), а сильные ветры сдувают снег с полей, является *снегозадержание*.

Для снегозадержания используют следующие основные способы.

*Полезационные лесополосы* — насаждения, которые способствуют не только снегонакоплению, но и более равномерному снегораспределению. Для некоторых районов страны это имеет настолько большое значение, что показатель снегораспределительной работы лесных полос выходит на первое место среди других лесомелиоративных показателей.

Так, в Сибири и на Дальнем Востоке с холодными и мерзлотными грунтами, с резко континентальным и муссонным климатом главным лимитирующим фактором в земледелии является не дефицит влаги, что свойственно большинству других земледельческих районов страны, а дефицит почвенного тепла в сочетании с очень неравномерным режимом увлажнения. Поэтому способность лесонасаждений накапливать на полях в 1,5...3 раза больше снега по сравнению с открытыми участками обеспечивает надежную термоизоляцию и лучшую влагообеспеченность почв.

Размер зоны влияния лесополос зависит от ряда факторов: подбора пород, плотности посадки, числа рядов в лесополосе, скорости ветра, угла подхода ветра к лесной полосе. Например, по данным сотрудников Всероссийского НИИ агролесомелиорации, суммарная деятельность влияния на сокращение ветрового потока трехрядных лесополос равна 30-кратной высоте деревьев, двухрядных — 27 и однорядных — 25 высотам лесной полосы.

*Кулисы* — посев высокостебельных растений (подсолнечник, кукуруза, горчица и др.) с последующим их оставлением на зиму. Каждая кулиса должна состоять из 3...5 рядов. Расстояние между кулисами — от 7 до 14 м в зависимости от местных условий. Между кулисами и в них самих накапливается снег. Опыты А.М. Шульгина

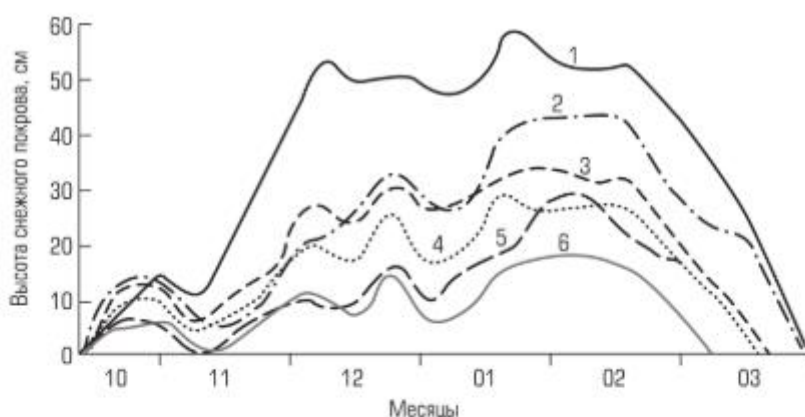


Рис. 7.7. Динамика снегонакопления на различных фонах снегозадержания (г. Барнаул): 1 — кулисы горчицы; 2 — кулисы подсолнечника; 3 — высокая стерня; 4 — средняя стерня; 5 — низкая стерня; 6 — пар (контроль)

показали, что лучший результат дают кулисы из горчицы и подсолнечника (рис. 7.7).

*Щиты* снегозадерживающие устанавливают перпендикулярно преобладающему направлению ветра. Группы щитов (по 4...5) размером 2×2 м расставляют рядами, расстояние между отдельными группами одного и того же ряда равно двукратной длине данной группы. Один ряд от другого располагают на расстоянии 20-кратной высоты щита. На 1 га выставляют примерно 80...100 щитов.

*Снегопахота.* Ее проводят снегопахами на тракторной тяге, которые собирают снег в плотные высокие валы, перпендикулярные направлению господствующего ветра, на расстоянии 10...15 м друг от друга.

*Оставление стерни на зиму* после уборки зерновых культур.

Все эти приемы замедляют воздушные потоки над снежным покровом, что способствует оседанию снега, переносимого ветром.

Снегозадержание способствует: уменьшению глубины зимнего промерзания почвы; защите посевов от сильных морозов и больших амплитуд температуры, которые губительно действуют на растения; увеличению весенних запасов влаги; удлинению периода залегания снежного покрова; ослаблению интенсивности стока. В результате, по данным Института земледелия Юго-Востока, прибавка урожая, например, озимой пшеницы может быть до 30%.

*Уплотнение снега* проводят в районах, где снежный покров мощный и где возможно выпревание озимых. Этот прием увеличивает теплопроводность снега, в результате чего снижается температура почвы на глубине узла купения озимых и корневой шейки много-

летних трав. Опыты, проведенные на Красноуфимской селекционной станции, показали, что в результате уплотнения снега температура почвы стала на 3,6...4,8 °С ниже, чем на контрольном участке. Выпревание не наблюдалось, и урожайность была на 0,55 т/га больше, чем на участке без уплотнения.

*Снегосгонки* — покрытие поверхности снега торфяной крошкой, сажой, золой и т.п. Это увеличивает поглощение солнечной радиации деятельной поверхностью, вследствие чего повышается ее температура и снег стает на 10...15 дней раньше, чем на окружающих полях.

Для правильного проведения снежных мелиораций необходимо учитывать осенние запасы влаги на полях, динамику высоты снежного покрова в течение зимы, преобладающее направление ветра, а также развитие осенне-зимних и весенних процессов в атмосфере.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. В каком случае из облаков выпадают осадки?
2. От чего зависит вид осадков и какие они бывают?
3. Чем определяется тип осадков и какие они бывают?
4. Какое значение имеют осадки для сельскохозяйственного производства?
5. Расскажите методику измерения осадков.
6. Как графически представляется ход осадков?
7. Какое значение имеет снежный покров в жизни растений?
8. Расскажите методику наблюдений за снежным покровом.
9. Какими приемами можно регулировать высоту снежного покрова?

### 8.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И МЕХАНИЗМЫ ЕЕ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Почвенная влага является одним из главных факторов жизнедеятельности растений. Поглощенная корнями вода переносит с собой растворимые питательные вещества, поддерживает тургор листьев, идет на построение органических соединений, обеспечивает терморегуляцию растительного организма.

Информация о влагозапасах почвы является одной из основных в подсистеме наземных агрометеорологических наблюдений. По данным о влажности почвы рассчитываются основные показатели влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, определяются сроки и нормы поливов. С учетом влагозапасов прогнозируются оптимальные сроки посева, рассчитываются даты всходов, начала кущения и оценивается состояние озимых зерновых культур перед уходом в зиму. На основе величины влажности почвы оценивается эффективность внесения минеральных удобрений, прогнозируются степень полегания зерновых, сроки сенокоса, урожайность и валовые сборы полевых культур, определяется дата наступления такого опасного явления, как почвенная засуха.

Во многих районах нашей страны колебания урожаев от года к году чаще всего связаны с колебаниями влагообеспеченности растений.

Поэтому в системе Росгидромета на агрометеорологических станциях и постах регулярно наблюдают за влажностью почвы на полях и в насаждениях. В результате многолетних наблюдений на этих станциях были установлены важные для сельского хозяйства характеристики формирования и пространственного распределения почвенной влаги, уточнены количественные показатели зависимости состояния сельскохозяйственных культур и урожая от влагообеспеченности, дано обоснование некоторых агрогидрологических приемов.

Соответственно механизму удержания выделяют три различные по физическим и химическим свойствам категории (формы) почвенной воды: связанную, капиллярную и гравитационную.

**Связанная вода** — часть почвенной влаги, которая находится на поверхности почвенных частиц под влиянием сорбционных сил. Благодаря огромной поверхности частиц почва адсорбирует значительное количество воды.

Каждая молекула адсорбированной воды связана с поверхностью почвенной частицы мощным силовым полем (от 50 до десятков тысяч атмосфер)<sup>1</sup>, поэтому по своим свойствам адсорбированная вода близка к твердому телу. Она носит название *прочносвязанной влаги* и может передвигаться, только переходя в пар. Плотность ее больше единицы, замерзает она при температуре  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже. Прочносвязанная вода имеет удельную теплоемкость, равную единице, и лишена электропроводности. Она не растворяет электролиты и другие вещества, растворяющиеся в свободной воде.

По мере удаления от адсорбирующей поверхности почвенных частиц свойства связанной воды меняются, энергия связи падает. Более внешние слои удерживаются меньшей силой (от 10 до 50 атм), поэтому имеют рыхлое строение. По терминологии А.А. Роде это *рыхлосвязанная влага*. По своим свойствам рыхлосвязанная вода приближается к обыкновенной, в почвенных порах она незаметно переходит в свободную воду. Рыхлосвязанная вода замерзает при температуре от  $-1,5$  до  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обладает пониженной растворяющей способностью и подвижностью. В почве она передвигается под действием молекулярных сил от частиц с пленкой большей толщины к частицам с пленкой меньшей толщины (отсюда еще одно ее название) «*плёночная влага*».

**Капиллярная влага** — свободная почвенная влага, удерживаемая в почве или передвигающаяся в ней под влиянием капиллярных (менисковых) сил. Она находится поверх плёночной, поэтому удерживается в почве силой около 500 гПа и меньше. Температура ее замерзания — около  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Капиллярная вода способна растворять вещества, подвижна. Она доступна для растений, это наиболее благоприятная для них форма почвенной влаги.

Различают *капиллярно-подвешенную* и *капиллярно-подпертую* влагу. Капиллярно-подвешенная влага образуется при увлажнении почвы с поверхности (дождевая вода, талые и оросительные воды), капиллярно-подпертая — при поступлении воды снизу, т.е. при подъеме воды по капиллярам от грунтовых вод. Зону (слой почвы) над зеркалом грунтовых вод, насыщенную капиллярно-подпертой водой, называют *капиллярной каймой*.

Возможно присутствие в почве одновременно и капиллярно-подвешенной, и капиллярно-подпертой воды, разделенных сухим слоем. Если эти воды смыкаются, то под действием капиллярных сил грунтовая вода поднимается по капиллярам к поверхности почвы и испаряется. При этом минерализованные грунтовые воды обогащают почву солями, что способствует засолению и осолонцеванию почв.

---

<sup>1</sup> 1 атм = 1000 гПа.



**Гравитационная влага** занимает все крупные некапиллярные промежутки между агрегатами (поры, пустоты) в почве, вытесняя воздух. Передвигается свободно под действием силы тяжести (гравитации), способна растворять и переносить соли, коллоиды, суспензии по профилю почвы, доступна растениям, но, создавая анаэробные условия, вызывает угнетение и гибель растений из-за недостатка кислорода, а также заболачивание почвы.

Выделяют *гравитационную просачивающуюся влагу*, которая передвигается сверху вниз по профилю почвы, и *гравитационную подпертую* (задержанную водоупорным слоем и накапливающуюся над ним по мере просачивания воды из верхних слоев), которая перемещается по направлению водоупорного слоя.

Физические и химические свойства гравитационной влаги аналогичны свойствам свободной воды.

Описанные формы воды в почве тесно взаимосвязаны и испытывают одновременное, хотя и разной интенсивности воздействие нескольких сил (сорбционных, капиллярных, гравитационных и др.).

Механизм удержания влаги при изменении влажности почвы изменяется постепенно, поэтому любая система классификации почвенной влаги, в том числе и приведенная, является до некоторой степени условной.

Особые свойства имеет вода, находящаяся в почве в твердом (лед) и парообразном состоянии.

## 8.2. АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Изучение взаимодействия воды с почвой, механизмов движения влаги и усвоения ее растением показало, что при изменении влажности почвы наблюдаются некоторые узловые точки, в которых поведение, свойства воды и доступность ее для растений резко меняются, т.е. изменяются *агροгидрологические*, или *водно-физические*, свойства почвы. Значения влажности в этих точках различны в зависимости от гранулометрического (механического) состава почвы, ее структуры, порозности и т.п. Эти узловые агροгидрологические характеристики иногда еще называют *агροгидрологическими константами*.

В основу определения агροгидрологических характеристик положен принцип разделения почвенной влаги по степени связности, подвижности и доступности ее для растений. Этот принцип позволяет из общего количества содержащейся в почве влаги выделить ту ее часть, которая имеет одинаковую ценность для формирования урожаев сельскохозяйственных культур, и тем самым сравнить влажность различных типов почв.

В агрогидрологических исследованиях для оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур наиболее широко используют следующие агрогидрологические характеристики: недоступная влага (мертвый запас), влажность устойчивого завядания, влажность разрыва капилляров, наименьшая влагоемкость, капиллярная влагоемкость, полная влагоемкость.

**Недоступная влага** — это влага, удерживаемая в почве силами, большими осмотического давления клеточного сока корневых мочек и волосков, она не может быть отнята растением полностью из почвы даже в момент полного увядания растения. Следовательно, абсолютным пределом доступной растениям почвенной влаги является влажность почвы в момент полного увядания растений — потери тургора не только надземной частью, но и всасывающими клетками корней. У культурных растений в этих условиях обезвоживание надземной части, начинающей увядать значительно раньше корней, так велико, что в результате необратимых процессов изменения структуры плазмы растение гибнет. Остающуюся в этот момент в почве влагу называют еще *мертвым запасом*. Ее количество практически соответствует количеству прочносвязанной воды.

Наиболее простой способ учета прочносвязанной воды — по максимальной гигроскопичности.

**Максимальная гигроскопичность (МГ)** — наибольшее количество влаги, которое почва может поглощать из воздуха, почти насыщенного водяным паром (при относительной влажности 94...96%). Количество этой влаги зависит от температуры, влажности воздуха, гранулометрического состава почвы. Гигроскопическая влага удерживается в почве поверхностно-адсорбционными силами, она недоступна для растений.

Максимальная гигроскопичность почвы определяется ее удельной поверхностью: чем больше удельная поверхность почвы, тем больше ее МГ. Удельная же поверхность почвы зависит от размера почвенных частиц: чем мельче частицы, тем больше удельная поверхность. В связи с этим МГ минеральных почв гораздо меньше, чем органических, а выражается она в процентах от массы абсолютно сухой почвы. Максимальная гигроскопичность (недоступная влага) почв различного гранулометрического состава, по данным С.А. Вериги и Л.А. Разумовой (% массы абсолютно сухой почвы), приведена ниже:

Гранулометрический состав почвы	Максимальная гигроскопичность
Песчаная	0,5...1,0
Супесчаная	1,0...3,0
Легкосуглинистая	3,0...5,0
Среднесуглинистая	4,0...7,0
Тяжелосуглинистая	6,0...9,0
Глинистая	9,0...15,0
Торфяная	30,0...40,0

**Влажность устойчивого завядания (ВЗ)** — предел увлажнения почвы, при котором появляются необратимые признаки увядания растений с нормально развитой корневой системой — тургор растений не восстанавливается даже в воздухе, близком к состоянию насыщения водяными парами. В результате прекращаются прирост и формирование урожая.

Влажность устойчивого завядания в основном зависит от типа почвы, вида растений, значительно меньше — от фазы развития растений и от условий их выращивания. Ее количество примерно соответствует имеющемуся в данной почве количеству связанной воды, т.е. сумме прочно- и рыхлосвязанной воды, или полутора—двойной максимальной гигроскопичности. Чем мелкозернистее и богаче гумусом почва, тем ВЗ больше. Влажность устойчивого завядания для почв различного гранулометрического состава, по данным гидрометеостанций (% массы абсолютно сухой почвы<sup>1</sup>), приведена ниже:

Гранулометрический состав почвы	Влажность устойчивого завядания
Песчаная	0,5...1,5
Супесчаная	1,5...4,0
Легкосуглинистая	3,5...7,0
Среднесуглинистая	5,0...7,0
Тяжелосуглинистая	8,0...12,0
Глинистая	12,0...20,0
Торфяная	40,0...50,0

В теплых почвах ВЗ несколько больше, чем в холодных. При запасе влаги меньше ВЗ почва находится в твердопластичном состоянии, что затрудняет ее обработку.

**Влажность разрыва капилляров (ВРК)** — влажность почвы, при которой подвешенная влага в процессе транспирации растений теряет способность передвигаться к испаряющей поверхности. Выражается в процентах массы или объема почвы. Как следует из самого термина, при ВРК сплошное заполнение капилляров водой нарушается, влага резко теряет свою подвижность и уже не может в достаточном количестве перемещаться в зону потребления. ВРК находится в интервале между наименьшей влагоемкостью и влажностью устойчивого завядания и характеризует нижний предел оптимальной влажности почвы.

Значение ВРК зависит от гранулометрического и агрегатного составов, сложения почвы и составляет примерно 50...70% НВ.

Когда влажность почвы опускается ниже ВРК (до 25...35% НВ), накопление надземной массы почти прекращается — все фотоасси-

<sup>1</sup> В настоящее время влажность устойчивого завядания выражают в миллиметрах (мм).

миляты растение направляет на рост мелких корней, волосков для поиска влаги. И продуктивность агроценоза снижается.

**Наименьшая влагоемкость (НВ)** — максимальное количество капиллярно-подвешенной воды, которое может содержаться в почве в условиях свободного дренирования, т.е. после стекания гравитационной влаги под действием силы тяжести при условии глубокого залегания грунтовых вод (не менее 5 м). Наряду с термином «наименьшая влагоемкость» часто используют термины-синонимы: *полевая влагоемкость (ПВ)*, *предельная полевая влагоемкость (ППВ)*. Изменение НВ зависит от гранулометрического состава, гумусированности, структурности и сложения почвы. Ориентировочно значение НВ равно 25...35% общего объема для суглинистых и глинистых почв, 15...25 — для легкосуглинистых, 6...15 — для супесчаных и 2...6% — для песчаных; измеряется НВ в миллиметрах.

НВ — важнейшая агрономическая характеристика почвы, так как практически показывает запас доступной для растений влаги. Почва при этом находится в мягкопластичном состоянии, и условия для ее обработки наилучшие.

Разность между значением НВ и фактической влажностью почвы называют *дефицитом влаги в почве*, его величину широко используют в земледелии при расчете, например, оросительных и поливных норм.

**Капиллярная влагоемкость (КВ)** — максимальное количество капиллярно-подпертой воды, которое может удерживаться в слое почвы, находящемся над зеркалом грунтовых вод (в пределах капиллярной каймы), в результате действия сил молекулярного притяжения между водой и почвенными частицами. КВ зависит от скважности почвы, состава материнской породы (грунта), глубины залегания грунтовых вод. КВ наибольшая при неглубоком залегании грунтовых вод и возможном их капиллярном подтягивании до поверхности почвы.

В суглинистых и глинистых почвах вода по капиллярам за счет менисковых сил может подниматься на высоту 3 м и более, в супесчаных — до 1,0...1,5 м, а в песчаных и торфяных — до 0,5...1,0 м. Если частицы почвы крупнее 3...4 мм, подъем влаги прекращается. КВ всегда находится в пределах между полной и наименьшей влагоемкостью.

Капиллярная влага легко доступна растениям. Почва в этот момент находится в липком состоянии, что затрудняет ее обработку.

**Полная влагоемкость (ПВ)** — количество воды, содержащееся в почве в момент, когда зеркало грунтовых вод достигает поверхности почвы и все почвенные поры заняты водой. При этом почвенный воздух вытеснен водой, что прекращает аэрацию почвы и вызывает угнетение растений. В Нечерноземной зоне полная влагоемкость

наблюдается весной, когда нижние слои почвы еще не оттаяли, а верхние переувлажнены талыми водами (верховодка). В агрономической практике полную влагоемкость иногда называют *полной полевой влагоемкостью* (ППВ) или *полной водовместимостью*.

Значение ПВ практически равно пористости (скважности) почвы и колеблется от 20...40 до 50...60%, достигая иногда 80% общего объема почвы, т.е. также зависит от гранулометрического состава почвы; измеряется ПВ в миллиметрах.

Почва при этом находится в текучем состоянии, и проведение полевых работ невозможно.

### 8.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Для оценки условий произрастания и формирования урожая сельскохозяйственных культур влажность почвы на агрометеорологических станциях и постах учитывают в течение всего вегетационного периода. Наблюдения ведут во всем корнеобитаемом слое дифференцированно по глубине, так как ввиду ограниченной подвижности почвенной влаги могут создаваться существенные различия влажности почвы по ее вертикальному профилю. Вследствие этого определения влажности почвы носят характер массовых полевых измерений.

Существуют прямые и косвенные методы полевых определений влажности почвы. Прямыми методами непосредственно измеряют количество воды, имеющейся в почве. Косвенными методами влажность почвы учитывают, определяя изменения тех или иных физических свойств почвы, которые зависят от степени ее увлажнения.

Прямым, ставшим уже классическим методом полевых определений влажности почвы является *термостатно-весовой метод*. По этому методу почвенным буром АМ-16 или АМ-26М<sup>1</sup> отбирают пробы почвы через каждые 10 см до глубины 50 или 100 см в четырехкратной повторности. Из нижней трети бурового стакана почву перекалывают в алюминиевые сушильные стаканчики и закрывают крышками. После отбора проб стаканчики с почвой доставляют на станцию и взвешивают с точностью до 0,1 г. Каждый стаканчик имеет номер, а масса пустого стаканчика записана в специальном журнале.

После взвешивания стаканчики с открытыми крышками ставят в термостат и при температуре 100...105 °С пробы почвы высушивают до тех пор, пока масса стаканчиков при последовательных взвешиваниях начинает различаться не более чем на 0,1 г. Обычно продолжительность высушивания супесчаных почв составляет 6...7 ч, сугли-

<sup>1</sup> Начат серийный выпуск нового бура АМ-7.

нистых — 7...8 ч. Результаты взвешивания записывают, а затем по разности масс влажной и сухой почвы вычисляют влажность почвы в процентах массы сухой почвы:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (8.1)$$

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

Для правильного суждения о влагообеспеченности растений необходимо знать количество влаги, находящейся в почве, выраженное в миллиметрах или в тоннах на 1 га. Относительную величину ( $W$ , %) в миллиметры ( $H$ ) пересчитывают по формуле

$$H = 0,1 W \rho h, \quad (8.2)$$

где  $H$  — содержание воды в слое почвы, мм;  $\rho$  — объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $h$  — слой почвы, для которого вычисляют запас воды, см.

Описанный метод определения влажности почвы очень трудоемок, поэтому разрабатываются различные перспективные косвенные методы.

Косвенные методы по принципам, положенным в основу устройства измерительных приборов, могут быть подразделены на три основные группы: *омический* — основан на измерении электрического сопротивления почвы; *тензиометрический* — основан на измерении капиллярного натяжения почвенной влаги; *радиометрические*. К числу последних относятся, например, гамма-метод и метод рассеивания нейтронов. Первый основан на эффекте ослабления почвенной влагой гамма-излучения естественных радиоактивных элементов, находящихся в почве. Измерения проводятся наземным способом и с помощью самолетов. Самолетная гамма-съемка дает погрешность измерения всего 1...2% для верхнего 30-сантиметрового слоя. Второй метод основан на эффекте рассеивания и замедления нейтронов атомами водорода, содержащимися в молекулах воды. На этом методе основано действие влагомера «Электроника» ВВП-1. Это цифровой прямопоказывающий прибор переносного типа для измерения влажности минеральных почвогрунтов в скважинах по заданным уровням до глубины 3 м.

#### 8.4. ПРОДУКТИВНАЯ ВЛАГА

Часть почвенной влаги, используемой растением в процессе жизнедеятельности, синтеза органического вещества и формирования урожая, называют *продуктивной влагой*.

Продуктивную влагу выражают высотой слоя воды в миллиметрах, что позволяет сопоставлять ее запасы с расходом воды (испарением) и ее приходом (осадками), которые также измеряют в миллиметрах.

Запасы продуктивной влаги (мм):

$$W_{\text{пр}} = 0,1\rho h(W - K), \quad (8.3)$$

где 0,1 — коэффициент для перевода запасов влаги в миллиметры;  $\rho$  — объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $h$  — слой почвы, см;  $W$  — влажность почвы, % массы абсолютно сухой почвы;  $K$  — влажность устойчивого завядания, % массы абсолютно сухой почвы.

Входящие в эту формулу величины плотности почвы и влажности устойчивого завядания постоянны для данной конкретной почвы и практически не изменяются при изменении влажности почвы.

По методике, принятой на сети гидрометеорологических станций, запасы подсчитывают для каждого 10-сантиметрового слоя почвы, которые затем суммируют.

Оптимальный диапазон доступной для растений почвенной влаги находится в пределах от наименьшей влагоемкости до влажности разрыва капилляров. Обобщенные значения наименьшей влагоемкости продуктивной влаги для некоторых разновидностей почв приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

**Наименьшая влагоемкость почв, мм продуктивной влаги**

Гранулометрический состав почвы	Слой почвы, см	
	0...20	0...100
Суглинистая	40...50	170...190
Супесчаная	30...40	150...170
Песчаная	20...30	80...120

Запасы продуктивной влаги — основной показатель влагообеспеченности растений (см. разд. 11.3). Продуктивную влагу в почве необходимо учитывать для обоснования технологии возделывания сельскохозяйственных культур, определения и оптимизации агротехнических мероприятий (эффективности вносимых в почву минеральных удобрений, системы обработки почвы, регулирования водного режима и т.д.). Например, А.П. Федосеевым установлено, что наибольшая эффективность удобрений отмечается при влагозапасах, составляющих в среднем 80...90% НВ. Более низкое или высокое увлажнение снижает эффективность удобрений (рис. 8.1).

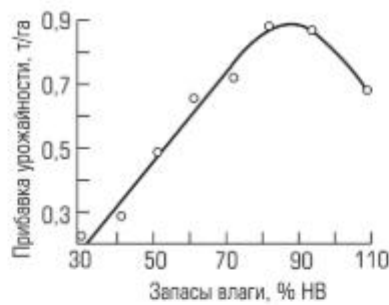


Рис. 8.1. Зависимость эффективности NPK от запасов влаги в метровом слое почвы за период вегетации зерновых культур

В силу значительной инерционности влагозапасов во времени возможно, например, по запасам продуктивной влаги в период кушения зерновых колосовых с определенной вероятностью судить об уровне влагообеспеченности посевов в последующий период вегетации. Установлено, что в Нечерноземной зоне при влагозапасах 60...70 мм в слое 0...50 см велика вероятность последующего недостатка влаги в течение трех и более декад. И напротив, высокие влагозапасы исключают возможность длительной почвенной засухи во вторую половину вегетации, особенно на суглинистых почвах.

#### 8.5. ГОДОВОЙ ХОД ЗАПАСОВ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ РОССИИ

На основе многолетних массовых наблюдений за влажностью почвы Л.А. Разумова и С.А. Вериго установили особенности ее годового хода под озимыми культурами на территории Российской Федерации (рис. 8.2) и выделили четыре агрогидрологические зоны (рис. 8.3).

*Зона обводнения* охватывает северные районы европейской части России и таежные районы Западной Сибири. Здесь в корнеобитаемом слое почвы в течение всего года имеется большое количество легкоподвижной влаги.

Зимой в промерзающем слое почвы интенсивно накапливается влага за счет подтягивания ее из грунтовых вод. Наибольшее количество продуктивной влаги в этой зоне наблюдается в конце зимы и может достигать 300 мм в слое 0...100 см, нередко превышая полную влагоемкость почвы.

Весной с оттаиванием почвы избыток влаги уходит с поверхностным стоком и в грунтовые воды. Запасы продуктивной влаги уменьшаются медленно, пока уровень грунтовых вод не снизится.

Наименьшие запасы влаги обычно бывают в июле и составляют в слое почвы 0...100 см около 150 мм. В период уборки почвы здесь часто переувлажнены.



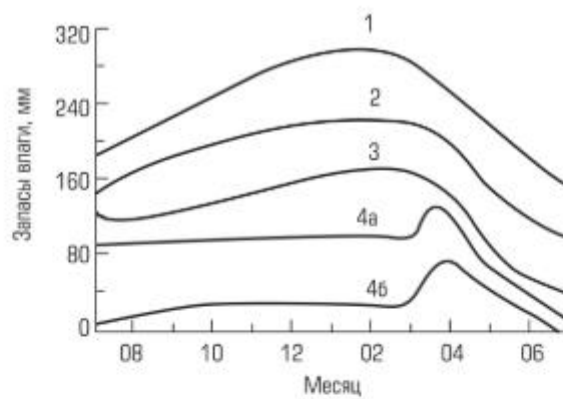


Рис. 8.2. Типы годового хода запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами:  
 1 — обводнения; 2 — капиллярного увлажнения; 3 — полного весеннего промачивания;  
 4а — слабого весеннего промачивания в засушливых районах; 4б — слабого весеннего промачивания в сильно засушливых районах

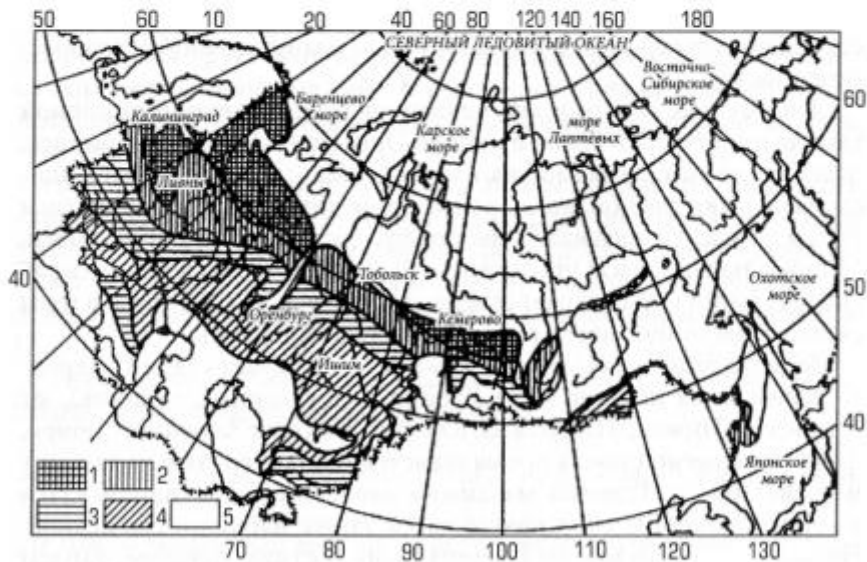


Рис. 8.3. Агрогидрологические зоны:  
 1 — обводнения; 2 — капиллярного увлажнения; 3 — полного весеннего промачивания;  
 4 — слабого весеннего промачивания; 5 — районы горные, поливные и слабоизученные в отношении влажности почвы

Зона капиллярного увлажнения расположена в районах, где грунтовые воды достигают корнеобитаемого слоя лишь в моменты наивысшего стояния, а верхняя граница капиллярной каймы в подавля-

ющем большинстве случаев в течение года залегает в корнеобитаемом слое и только в отдельные моменты выходит на земную поверхность. Эта зона простирается к югу от предыдущей зоны и ограничена линией Калининград — Ливны — Тобольск — Кемерово.

В зимний период влага накапливается так же, как и в зоне обводнения. Максимум запасов влаги отмечают в конце зимы — начале весны, и, по многолетним данным, на суглинистых почвах в среднем он превышает 200 мм, на супесчаных — 150 мм.

Наименьшие запасы продуктивной влаги в слое 0...100 см суглинистых почв бывают в июле и составляют около 100 мм, а в супесчаных — несколько меньше. Осенью и весной почва переувлажнена. Корневая система растений расположена в верхних слоях почвы, поэтому в сухие годы в летние месяцы урожайность сельскохозяйственных культур может снижаться из-за недостаточной влагообеспеченности.

*Зона полного весеннего промачивания* расположена между зоной капиллярного увлажнения и линией Оренбург — Ишим — Мариинск. Здесь грунтовые воды залегают глубоко. Максимальные влагозапасы наблюдают весной, когда почва промачивается на глубину слоя 100 см до наименьшей влагоемкости, что составляет от 170 до 200 мм. Минимальные запасы продуктивной влаги отмечают в конце периода вегетации сельскохозяйственных культур — 50...100 мм, а в годы сильных засух они могут быть полностью исчерпаны.

*Зона слабого весеннего промачивания* охватывает степи Северного Кавказа (за исключением Кубани и предгорных районов), юг Среднего и Нижнего Поволжья, Южный Урал и юг Западной Сибири. Здесь даже весной почва промачивается тальми водами на глубину меньше 100 см. Годовой максимум запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы здесь также наблюдается весной. Но даже в это время, по средним многолетним данным, запасы влаги в слое почвы 0...100 см значительно меньше наименьшей влагоемкости, а в наиболее засушливых районах они составляют всего 50...70 мм. Глубина промачивания почвы в отдельные годы не превышает 50 см. Наименьшие запасы влаги наблюдаются осенью, при этом в засушливые годы возможно полное иссушение почвы до глубины 50 см и больше.

## **8.6. ВОДНЫЙ БАЛАНС ПОЛЯ**

Влажность почвы определяется совокупностью протекающих в ней процессов поступления, передвижения, сохранения и потери влаги. Алгебраическая сумма прихода и расхода воды в почве за выбранный интервал (промежуток времени — сезон, месяц, декада) и для определенного слоя (обычно 0...100 см) есть *водный баланс почвы*.

В приходной части водного баланса основным источником поступления влаги в почву являются осадки ( $r$ ), достигающие поверхности почвы. Атмосферные осадки впитываются в почву и одновременно в зависимости от рельефа и микрорельефа поля перераспределяются по его поверхности, обуславливая поверхностный приток влаги ( $M_{п.п}$ ) на участок. Когда просочившаяся в почву вода попадает на водонепроницаемый слой и передвигается внутри почвы соответственно его уклону, запасы влаги отдельных участков поля могут пополняться и за счет внутрпочвенного притока ( $M_{в.п}$ ). В районах с высоким залеганием грунтовых вод существенным источником пополнения запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы являются грунтовые воды, снабжающие почву влагой за счет капиллярного поднятия ( $M_r$ ). В некоторых случаях в почву может поступать небольшое количество воды из атмосферы в виде пара, конденсирующегося в почве ( $M_k$ ).

Расходная часть водного баланса почвы состоит из следующих элементов: поверхностный ( $M_{п.с}$ ) и внутрпочвенный ( $M_{в.с}$ ) стоки в соответствии с рельефом данного поля, просачивание (инфильтрация) воды вниз за пределы корнеобитаемого слоя почвы ( $M_{ин}$ ), испарение влаги с поверхности почвы ( $E$ ) и транспирации растений ( $E_{тр}$ ).

Перечисленные элементы составляют полный водный баланс почвы, который выражается уравнением

$$\Delta W = (r + M_{п.п} + M_{в.п} + M_r + M_k) - (M_{п.с} + M_{в.с} + M_{ин} + E + E_{тр}), \quad (8.4)$$

где  $\Delta W$  — изменение запасов продуктивной влаги в почве за расчетный период в определенном слое (в зависимости от фазы развития культуры), мм.

Для случая плоской поверхности, когда нет ни притока воды на данную территорию, ни оттока с нее, когда отсутствует также внутрпочвенный приток или отток и нет подтока из грунтовых вод, при условии, что вся вода поглотилась почвой, а капиллярная конденсация незначительна, уравнение (8.4) примет следующий вид:

$$\Delta W = r - E - E_{тр} \quad (8.5)$$

или

$$\Delta W = r - E_{\Sigma}, \quad (8.6)$$

где  $E_{\Sigma}$  — суммарное испарение ( $E_{\Sigma} = E + E_{тр}$ ), мм.

Все элементы водного баланса непрерывно меняются во времени и пространстве в зависимости от погоды. Смена холодного и теплого

сезонов года — один из основных факторов, определяющих динамику водного режима и условий формирования запасов влаги в почве.

В холодный период влага не расходуется на транспирацию, а когда почва покрыта снегом, то и на испарение. Запасы влаги изменяются за счет ее внутрпочвенного передвижения под влиянием кристаллизации в процессе промерзания почвы, а также за счет пополнения талыми водами во время оттепелей. В районах с большой влажностью почвы и неглубоким залеганием грунтовых вод (Нечерноземная зона) влага накапливается за счет подтягивания ее к промерзающему слою.

В районах с неустойчивой зимой и глубоким залеганием грунтовых вод (Северный Кавказ) запасы влаги в течение зимы увеличиваются на несколько десятков миллиметров за счет проникновения талых вод в почву.

Ранней весной запасы почвенной влаги пополняются за счет талых вод, но одновременно влага расходуется на испарение и просачивание в нижележащие слои. С начала вегетации сельскохозяйственных культур запасы влаги в верхнем слое почвы изменяются в результате совокупного влияния метеорологических факторов и растений. С возрастанием температуры почвы усиливаются транспирация и испарение с поверхности почвы, что нередко иссушает пахотный слой.

Таким образом, в различные периоды времени (весна, лето, осень, зима) влагозапасы в почве меняются, т.е. водный баланс имеет годовой цикл.

В среднем же за многолетний период почвы обычно характеризуются стабильным, установившимся водным режимом без прогрессирующего иссушения или увлажнения, когда поступление воды в почву и расход ее из почвы практически одинаковы, т.е. водный баланс равен нулю.

Данные водного баланса используют для оценки водных ресурсов территории, определения причин заболачивания, расчета испарения и оросительных норм и т.д.

## **8.7. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ**

Основные методы регулирования водного режима почвы — орошение, осушение, сохранение чистых паров и соответствующие приемы обработки почвы, полезащитное лесонасаждение, снежные мелиорации.

*Орошение* — наиболее надежный способ создания оптимальной влагообеспеченности посевов в засушливых районах. Большие площади земель орошают в Нижнем Поволжье, на Северном Кавказе и в южных районах Черноземья.

Основные виды орошения: влагозарядковое, или запасное, — пополнение запасов верхнего и более глубоких слоев почвы; увлажнительное — пополнение запасов до определенного оптимального предела; лиманное — пополнение тальми водами местного стока весной. При этом необходимы такие способы полива, которые обеспечивают не только высокие и устойчивые урожаи, но и экономное расходование воды, а также экологическую безопасность. В наибольшей степени этим требованиям отвечают дождевание, капельное и внутрипочвенное орошение.

*Дождевание* обеспечивает полив строго заданными нормами, создает необходимый водный режим почвы, не нарушая ее структуры, повышает влажность и снижает температуру воздуха в зоне развития надземной части растения, позволяет широко применять механизацию на всех сельскохозяйственных работах, выполнять их в сжатые сроки. Есть несколько методов дождевания:

- импульсное, при котором дождевательные аппараты на всей орошаемой площади работают чередующимися паузами. Обеспечивает высококачественное увлажнение почвы, равномерное распределение поливной воды на всей орошаемой площади, предотвращает ирригационную эрозию;
- аэрозольное (мелкодисперсное). Заключается в периодическом смачивании надземной части растений распыленной водой. Проводят его в периоды, когда температура воздуха выше оптимальной для развития культурных растений. При аэрозольном дождевании мелкие капли воды испаряются с поверхности растений, в результате температура их уменьшается на 6...12 °С, что препятствует снижению фотосинтеза в жаркое время дня и существенно сокращает расход почвенной влаги.

Для многолетних плодовых насаждений перспективен *очаговый способ полива*, при котором вода подается в поливные полиэтиленовые трубопроводы, расположенные вдоль ряда деревьев так, что через каждое отверстие поливного трубопровода вода поступает непосредственно к штамбу в лунку.

Большими преимуществами обладает *капельное орошение*. При этом способе вода попадает в основную зону питания растений через капельницы, установленные в трубопроводе. Капельное орошение позволяет экономить до 50% воды на песчаных почвах и до 30% на всех остальных.

В России и за рубежом применяют различные модификации капельного орошения. Это малоструйная система, не требующая очистки воды и работающая от низконапорных трубопроводов; передвижная система капельного орошения для пропашных культур, позволяющая вносить гербициды, инсектициды, удобрения и др.

*Внутрипочвенное орошение* (ВПО), при котором вода подается в подпахотный слой к корням растений, позволяет непрерывно снабжать растения водой в соответствии с их водопотреблением. Следует отметить, что при этом способе орошения можно одновременно с поливной водой вносить непосредственно в корнеобитаемый слой почвы необходимое количество удобрений, а также использовать животноводческие стоки.

Несомненный интерес представляет *субирригация* — увлажнение почвы в активном слое за счет капиллярного подпитывания путем поддержания уровня грунтовых вод на нужной глубине. Этот способ можно применять на ровных полях при неглубоком залегании уровня грунтовых вод, на незасоленных почвах с хорошими капиллярными свойствами.

Повышение эффективности орошения и снижения мелиоративной нагрузки на почву достигается также повышением биологической активности поливной воды путем применения специальных устройств, из которых наиболее широкое применение нашли аппараты с постоянными магнитами. В результате такой активизации химические свойства воды остаются неизменными, а физические существенно изменяются. Намагниченная вода оказывает благоприятное воздействие на рост и развитие растений, их урожайность, на плодородие почв, способствует вымыванию из почвы солей, причем затраты на удаление 1 т солей в 3 раза меньше, чем при традиционной технологии.

Число поливов, их сроки и нормы регулируют так, чтобы создать оптимальные условия влажности почвы для роста, развития растений и формирования урожая. Решающий фактор — это сроки полива (один своевременный полив позволяет получить большую прибавку урожая, чем два несвоевременных). Например, для зерновых культур критический период по отношению к влаге — выход в трубку — колошение, для картофеля — бутонизация — цветение, у свеклы — начиная от линьки корня. А кукуруза до 70% влаги и питательных веществ расходует в период от появления всходов до цветения.

Под влиянием орошения урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается в 1,5...2 раза и более.

*Полезащитные лесные полосы* — важное средство улучшения влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в засушливых районах. Они уменьшают скорость ветра и тем самым непродуктивное испарение с полей, препятствуют сдуванию снега с полей, а весной сокращают поверхностный сток талых вод. Кроме того, в системах лесных полос может существенно повышаться уровень грунтовых вод как под насаждениями, так и на всей площади. Есть данные, что в зоне черноземных почв грунтовые воды в равнинных агролесоландшафтах поднялись с 8...10 до 2,5...3 м. Благодаря этому обеспечива-

ется бесперебойное водоснабжение ризосферы сельскохозяйственных растений из зоны капиллярной каймы грунтовых вод и поэтому в значительной мере ослабляется зависимость урожая от летних осадков. Важно еще и то, что на южных черноземах под влиянием лесных полос происходят опреснение грунтовых вод и рассоление почв.

*Кулисы* из высокостебельных однолетних растений также способствуют накоплению влаги за счет задержанного снега. Например, в засушливых районах кулисы подсолнечника увеличивают запасы продуктивной влаги в почве к весне более чем на 40 мм (400 т воды на 1 га).

К числу косвенных методов регулирования водного режима почвы относятся *агротехнические мероприятия*, большинство из которых направлено на регулирование водного и теплового режимов в почве, соответствующих потребности сельскохозяйственных культур. В накоплении, сохранении и эффективном использовании влаги существенное значение имеют *пары и системы обработки почвы*.

Значение чистых паров сводится к исключению расходования влаги из почвы путем транспирации растений в течение вегетационного периода или части этого периода, что позволяет накопить влагу в почве и компенсировать недостаточное количество осадков. Зоной наибольшей эффективности чистых паров, где ко времени сева озимых зерновых культур продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см накапливается на 70...110 мм больше, чем на непаровых полях, является зона недостаточного увлажнения черноземных почв.

Применение *ранней зяблевой вспашки* уменьшает весенний поверхностный сток, по данным М.И. Львовича, в сухостепных районах в 5 раз, в степных — в 3...4, в лесостепных — в 2 раза. Уменьшению стока способствует также *осеннее щелевание почв*. По данным Г.П. Сурмач, этот прием сокращает сток под многолетними травами и на пастбищах от 8...10 до 20...30 мм. В Центрально-Черноземном районе *лункование зяби* увеличивало запасы влаги в метровом слое на 24...28 мм по сравнению с обычной вспашкой, сокращая в 2...2,5 раза поверхностный сток.

Важное средство накопления и сохранения почвенной влаги — *рыхление почвы*. Так, рыхлый слой почвы в 2...7 раз уменьшает испарение влаги с почвы, а боронование полей уменьшает испарение влаги на 20...30%.

На юге Западной Сибири и в районах с сильной ветровой эрозией существенный эффект (до 40 мм в слое почвы 0...10 см) дает *осенняя глубокая безотвальная вспашка*. При такой вспашке стерня зерновых культур, оставшаяся на поверхности, в 3...5 раз уменьшает скорость ветра у поверхности почвы и, как следствие, снижается испарение с почвы. Стерня также способствует задержанию снега в зимний период.

Обработка почвы поперек склона сокращает поверхностный сток воды в 2...10 раз по сравнению со вспашкой вдоль склона и обеспечивает увеличение запасов влаги в почве на 30...95%.

Уменьшают непродуктивное испарение с почвы ее *мульчирование* и *укрытие пленкой*.

В районах избыточного увлажнения, а также на заболоченных территориях, наиболее характерных для Нечерноземья, для улучшения водного режима почв применяют различные способы *осушения*. При этом улучшаются их аэрация и температурный режим, что также способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур. В то же время в засушливые годы, что нередко здесь случается (их вероятность около 40%), на осушенных почвах влагообеспеченность посевов может резко ухудшаться. Поэтому здесь наиболее эффективны системы двустороннего регулирования водного режима, так называемые осушительно-оросительные системы. При этом, чтобы не произошло нарушения водного баланса и повторного заболачивания, осушенные участки необходимо сразу осваивать.

#### **8.8. ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ**

Влага, как известно, — один из незаменимых факторов жизни растений, поэтому состояние посевов сельскохозяйственных культур и их урожайность в значительной степени зависят от количества продуктивной влаги в почве.

Результаты исследований С.А. Вериги показали, что при средних за декаду запасах продуктивной влаги в пахотном (0...20 см) слое почвы меньше 5 мм всходы зерновых культур, как правило, не появляются. В период от кушения до выхода в трубку запасы продуктивной влаги меньше 10 мм в слое 0...20 см вызывают резкое ухудшение состояния посевов. В таких условиях слабо развиваются узловые корни, уменьшается число стеблей и колосков в колосе. В фазу выхода в трубку — цветения запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы меньше 80 мм также ухудшают состояние посевов и снижают урожай.

Наблюдения, проведенные А.П. Лосевым, показали, что снижение продуктивной влаги в слое 0...120 см до 60...80 мм в летний период вызывало ослабление интенсивности роста плодов яблони и частичное засыхание листьев на деревьях.

В равной степени для нормального роста и развития растений вреден и избыток влаги в почве, т.е. когда влагозапасы существенно превышают наименьшую влагоемкость. В этом случае в почве возникает недостаток кислорода, усиливаются анаэробные и восстано-



вительные процессы. В результате ухудшаются условия работы корневой системы и растение угнетается.

Влажность почвы влияет на появление болезней растений. При переувлажнении на первое место выступают болезни, вызываемые влаголюбивыми бактериями и грибными возбудителями: ложные мучнисторосяные и ржавчинные грибы, фитофтороз, серая и белая гниль, парша и т.д.

При недостатке влаги снижается гербицидная активность препаратов корневого действия, так как уменьшается их подвижность.

Влагозапасы во многом обуславливают и сроки детоксикации гербицидов в почве. Так, триазиновые препараты, недостаточно активные в засушливых условиях, могут впоследствии угнетать развитие последующих культур. Поэтому на следующий год на обработанных полях можно выращивать только культуры, устойчивые к последствию, например, картофель, горох, просо и т.д.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие категории (формы) почвенной влаги выделяют?
2. Какие агрогидрологические характеристики наиболее широко используют при оценке влагообеспеченности культур?
3. При какой влагоемкости почва находится в мягкопластичном состоянии? В текучем состоянии?
4. Как определяется дефицит влаги в почве?
5. Какую влагу называют продуктивной и как ее определяют?
6. Как записать уравнение водного баланса и что показывает его величина?
7. Назовите методы определения влажности почвы.
8. Перечислите методы регулирования водного режима сельскохозяйственных полей.
9. Какие агрогидрологические зоны выделяют на территории России?
10. Приведите примеры влияния влажности почвы на сельскохозяйственные культуры.

## 9.1. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

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

Атмосферное давление было измерено в первой половине XVII столетия итальянцем Эванжелистом Торричелли (1608–1647) и немцем Отто фон Герике (1602–1682), которые независимо друг от друга изобрели жидкостные барометры. Водяной барометр Герике был очень неудобен для практического использования. Торричелли же предложил измерять давление воздуха с помощью ртутного барометра. Поэтому в метеорологии атмосферное давление долгое время выражали в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

В 1930 г. для измерения давления была введена новая международная единица давления — бар (от др.-греч. «барос» — тяжесть). В практике до последнего времени в качестве единицы давления использовали тысячную долю бара — миллибар (мб).

С 1980 г. в качестве международной единицы (СИ) для измерения атмосферного давления принят паскаль ( $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ ). На практике используют гектопаскаль (гПа):  $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$ ;  $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мб} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$ ;  $1 \text{ мм рт. ст.} = 1,33 \text{ мб} = 1,33 \text{ гПа}$ .

Как известно, высота ртутного столба в барометре зависит не только от давления, но и от температуры ртути, а также от значения ускорения свободного падения в точке наблюдения, которое изменяется как с высотой над уровнем моря, так и с широтой места. Поэтому показания ртутного барометра на всех метеостанциях приводят к одинаковым условиям: к одной температуре (обычно  $0^\circ\text{C}$ ), к уровню моря и широте  $45^\circ$ , где ускорение свободного падения составляет  $9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ . При этих условиях давление, равное  $760 \text{ мм рт. ст.}$ , называют *нормальным атмосферным давлением*.

Давление воздуха с высотой уменьшается, так как на каждую более высоко расположенную поверхность давит меньшая масса атмосферы. Убывает атмосферное давление по определенному закону в зависимости от вертикального распределения плотности воздуха (а следовательно, от температуры и влагосодержания).

На высоте  $5 \text{ км}$  оно почти в 2 раза меньше атмосферного давления у земной поверхности, а на высоте  $100 \text{ км}$  измеряется только долями гектопаскаля.

В горизонтальном направлении атмосферное давление распределяется неравномерно и при этом все время меняется. Неравномерность распределения давления обуславливается неравномерностью распределения температуры воздуха на Земле. В зависимости от географической широты, времени суток и года, характера подстилающей поверхности, высоты над уровнем моря и т.п. одни участки нагреваются больше, чем другие. Вследствие этого возникают разности температур, приводящие к разностям в давлении.

Чтобы получить наглядное представление о распределении атмосферного давления по земному шару или большому региону, на географическую карту наносят измеренное в одно и то же время в разных районах Земли приведенное давление. Затем пункты, в которых давление одинаково, соединяют плавными линиями. Эти линии называют *изобарами* (рис. 9.1).

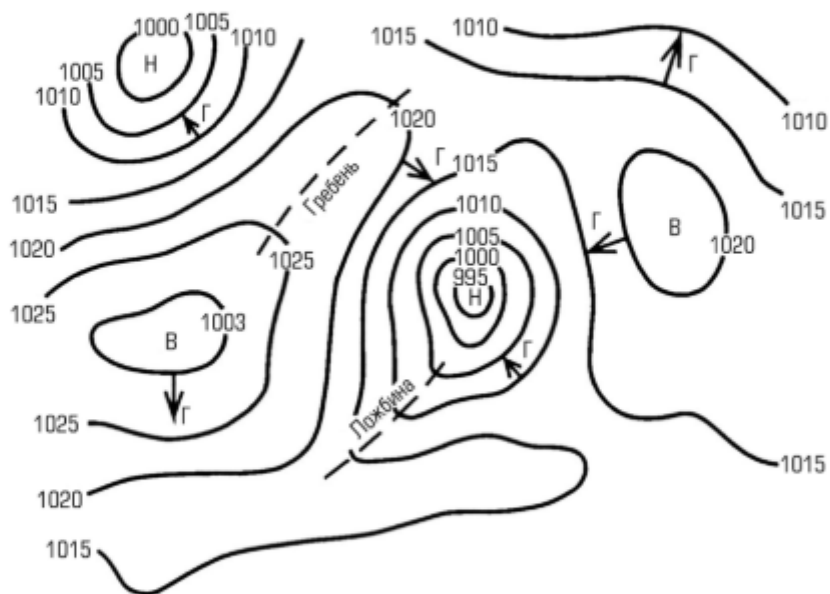


Рис. 9.1. Изобары на уровне моря, гПа:  
 Н — центр низкого давления; В — центр высокого давления; Г — горизонтальный барический градиент

Картирование распределения давления по территории позволяет установить расположение областей пониженного и повышенного давления, наблюдать за их передвижением, что важно для прогноза погоды (см. гл. 10).

По густоте расположения изобар можно судить о перепаде давления в горизонтальном направлении. Количественной мерой этого

изменения на единицу расстояния является *горизонтальный барический градиент* ( $\Gamma$ ), направленный по нормали к изобаре в сторону уменьшения давления (см. рис. 9.1). Барический градиент выражается в гектопаскалях или в миллибарах на  $1^\circ$  меридиана или на 100 км. Обычно барический градиент составляет 1...3 гПа на 100 км.

Горизонтальный барический градиент и является той силой, которая вызывает движение воздуха в горизонтальном направлении, т.е. *ветер*.

## 9.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА

Ветер характеризуется направлением, скоростью и порывистостью.

Движение воздуха, возникшее под действием силы горизонтального барического градиента, происходит не точно по направлению градиента, т.е. не по перпендикуляру к изобаре от высокого давления к низкому, а по более сложной траектории, обусловленной взаимодействием силы градиента с отклоняющей силой вращения Земли, центробежной силой и силой трения. Под совокупным влиянием этих сил ветер в нижнем слое атмосферы над сушей отклоняется от барического градиента на  $50...60^\circ$ , над морем — на  $60...70^\circ$ . Выше слоя трения (1000...1500 м) угол отклонения ветра от градиента приближается к  $90^\circ$ . При этом в Северном полушарии отклонение от барического градиента происходит вправо, а в Южном — влево.

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

Для построения розы ветров рассчитывают повторяемость ветра для каждого из восьми румбов, т.е. вычисляют, сколько раз повторилось то или иное направление ветра за данный период. Полученные значения выражают в процентах от общего числа наблюдений. Число штителей в 100% не входит (подсчитывают отдельно). Направление ветра и среднее число штителей за июль для г. Мичуринска приведены ниже:

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Повторяемость, %	5	13	30	19	7	9	9	8	8

На румбах в определенном масштабе откладывают (от центра) повторяемость ветра данного направления. Эти точки последовательно соединяют и получают розу ветров (рис. 9.2).

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

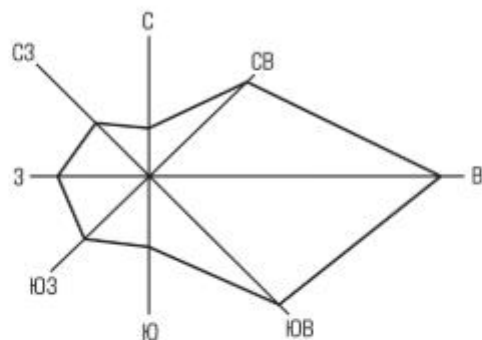


Рис. 9.2. Роза ветров за июль (г. Мичуринск)

Преобладающее направление ветра за год или за какой-либо сезон необходимо учитывать, например, при постройке животноводческих ферм и расположении навозных хранилищ в районе жилых домов. Важно расположить их так, чтобы ветер дул от жилых домов к фермам, а не наоборот. В пчеловодстве медоносные растения нужно высевать на поле с наветренной стороны от расположения пасеки. При таком расположении поля пчелы со взятком будут лететь при попутном ветре, а не наоборот. Розу ветров учитывают при выборе направлений ветрозащитных лесополос и при создании снежных валов на сельскохозяйственных полях в зимнее время.

Скорость ветра измеряют в метрах в секунду, реже — в километрах в час. Иногда определяют не скорость, а силу ветра по так называемой *шкале Бофорта*. Силу ветра по этой шкале дают в баллах и определяют визуально (табл. 9.1).

Самое ветреное место на земном шаре — Земля Адели в Антарктике. На российской станции «Мирный» за год отмечается около 250 дней со штормом, максимальная средняя суточная скорость ветра здесь составляет 28 м/с, отдельные порывы — до 55 м/с.

В России самым ветреным местом можно считать седловину хребта Варада (Мархотский перевал, 435 м над уровнем моря) над Новороссийском. Средняя скорость ветра за год на Мархоте равняется 9 м/с. Бывают годы, когда в зимние месяцы средняя скорость достигает 14...16 м/с.

Таблица 9.1

## Соотношение скорости ветра и силы ветра по шкале Бофорта

Скорость, м/с	Баллы Бофорта	Характеристика	Оценка ветра визуально
0...0,5	0	Штиль	Дым поднимается вертикально, листья неподвижны
0,6...1,7	1	Тихий	Ветер ощущается как легкое дуновение, дым слегка отклоняется в сторону
1,8...3,3	2	Легкий	Дуновение ветра чувствуется лицом, листья шелестят
3,4...5,2	3	Слабый	Листья и тонкие ветки постоянно колыхнутся
5,3...7,4	4	Умеренный	Приходят в движение тонкие ветки деревьев
7,5...9,8	5	Свежий	Качаются большие ветви
9,9...12,4	6	Крепкий	Качаются толстые ветви деревьев, гудят телеграфные провода
12,5...15,2	7	Сильный	Качаются стволы деревьев, гнутся большие ветви, трудно идти против ветра
15,3...18,2	8	Очень крепкий	Качаются большие деревья, ломаются ветви и сучья
18,3...21,5	9	Шторм	Ломаются большие сучья, сдвигаются с места легкие предметы
21,6...25,1	10	Сильный шторм	Вырываются с корнем деревья
25,2...29,0	11	Жестокий шторм	Большие разрушения
Более 29,0	12	Ураган	Катастрофические разрушения

Иногда в каждой точке пространства скорость и направление ветра резко изменяются. Такое движение воздуха называют *порывистостью ветра*.

Порывистость ветра связана с небольшими вихрями, которые образуются при обтекании воздухом неровностей земной поверхности или же при неодинаковом нагревании ее отдельных участков, т.е. обусловлена атмосферной турбулентностью (см. разд. 4.1). Порывистость тем больше, чем больше турбулентность. Следовательно, она сильнее выражена над сушей, чем над морем, и особенно велика в районах со сложным рельефом местности, больше летом, чем зимой, и имеет послеполуденный максимум.

### 9.3. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД СКОРОСТИ ВЕТРА

Наблюдения показывают, что при установившемся режиме погоды в приземном слое атмосферы над сушей отчетливо проявляется *суточный ход скорости ветра*.

В приземном слое минимум скорости наблюдают ночью. После восхода Солнца ветер усиливается и после полудня достигает максимума, затем постепенно ослабевает. Такой суточный ход ветра летом наблюдают до высоты 100...300 м, а зимой — до 20...30 м.

Амплитуда суточного изменения скорости ветра составляет 3...5 м/с. Летом она больше, чем зимой, а в ясные дни больше, чем в пасмурные. Над океанами суточный ход ветра почти незаметен.

Причина суточного хода скорости ветра — суточное изменение интенсивности турбулентного перемешивания атмосферного воздуха.

Резкая смена воздушных масс, прохождение фронтов и другие причины могут нарушить суточный ход ветра и привести к значительным отклонениям в отдельные дни.

*Годовой ход скорости ветра* определяется закономерностями общей циркуляции атмосферы. В умеренных и полярных широтах Северного полушария наибольшую скорость ветра наблюдают зимой, когда разность температур между тропиками и полюсом наиболее значительна и соответственно велика разность давлений. К лету с уменьшением контраста температур и, следовательно, градиентов давления ветер ослабевает. В то же время большое значение при этом имеют климатические особенности района и местные причины. Так, на европейской части России летом средние скорости наименьшие, а в январе и феврале наибольшие. В Восточной Сибири, наоборот, в январе и феврале средние скорости ветра наименьшие, а летом наибольшие.

#### **9.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРА**

Атмосферное давление измеряют барометром. Стационарный *ртутный чашечный барометр* СР-А (рис. 9.3, а) используют на постоянных наземных метеорологических станциях. В нем атмосферное давление уравнивается весом столба ртути в вертикальной стеклянной трубке, помещенной в металлическую оправу. По высоте столба ртути и определяют давление воздуха в миллиметрах или миллибарах. Барометр помещают в специальный шкаф, находящийся вдали от обогревательных систем, окон и дверей.

В настоящее время широкое распространение на метеорологической сети получили цифровые барометры типа БРС-1М-1.

*Барометр-анероид* БАММ-1 (см. рис. 9.3, б) имеет принцип действия, основанный на деформации мембранных анероидных коробок под действием атмосферного давления. Барометры-анероиды широко применяют для измерений в полевых условиях, на судах, в авиации, так как габариты их небольшие, они просты в обращении



Рис. 9.3. Приборы для измерения атмосферного давления:  
 а — ртутный чашечный барометр СР-А; б — барометр-анероид БАММ-1; в — барограф М-22А: 1 — барабан с лентой; 2 — стрелка с пером; 3 — анероидные коробки

и удобны при транспортировке. Анероиды также используют для проведения барометрического нивелирования — определения превышения одного уровня местности над другим.

*Барограф М-22А* (см. рис. 9.3, в) предназначен для непрерывной регистрации атмосферного давления. Приемная часть барографа состоит из нескольких анероидных коробок. Регистрирующей частью прибора является барабан (с часовым механизмом внутри) с лентой, на которой записывается давление в течение суток или недели.

Направление ветра в приземном слое на метеорологических станциях определяют *флюгером стационарным (Вильда) ФВЛ, ФВТ* (рис. 9.4). Его устанавливают на высоте 10...12 м над земной поверхностью. Чувствительным элементом направления ветра в этом приборе является флюгарка с противовесом. Для определения направления ветра на неподвижной оси расположена муфта с восемью штифтами, указывающими направление стран света. На одном из них укрепляют букву С, направленную на север. Приемником скорости ветра служит свободно подвешенная около горизонтальной оси металлическая пластина.



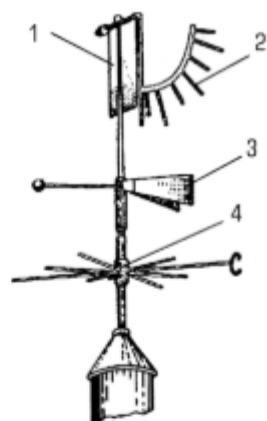


Рис. 9.4. Флюгер стационарный (Вильда) ФВЛ, ФВТ:  
1 — металлическая пластина; 2 — дуга со  
штифтами (для определения скорости ветра); 3  
— флюгарка  
с противовесом; 4 — муфта

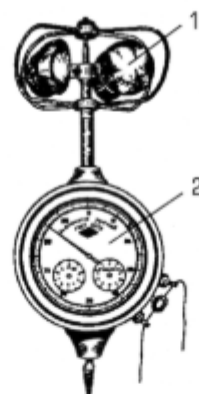


Рис. 9.5. Анемометр ручной  
чашечный МС-13:  
1 — приемник скорости;  
2 — счетный механизм

Анемометр ручной чашечный МС-13 (рис. 9.5) предназначен для определения средней скорости ветра в поле, плодовом саду, на опытных посевах и т.д.

На метеостанциях также широко используют дистанционные электрические анемометры и анеморумбометры (М-63М) (рис. 9.6), а также самопишущие приборы для непрерывной регистрации направления и скорости ветра — анеморумбографы (М-64) и др.



Рис. 9.6.  
Анеморумбометр  
М-63М

## 9.5. ВЕТРЫ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

В атмосфере существует сложная система постоянно меняющихся воздушных течений большого масштаба, переносящих огромные массы воздуха из одних широт и областей в другие. Совокупность основных воздушных течений на земном шаре называют *общей циркуляцией атмосферы*.

Анализ среднего многолетнего распределения атмосферного давления и направления ветра показывает, что у земной поверхности оно имеет в целом отчетливо выраженный зональный характер. В экваториальном поясе шириной примерно  $10^\circ$  широты в течение года существует экваториальная депрессия (экваториальный минимум), от которой давление сначала растет к субтропикам (субтропический

максимум), затем падает к субполярным широтам (минимум умеренных широт) и снова растет к полюсам (рис. 9.7).

С учетом того что направление движения воздуха отклоняется от горизонтального барического градиента (см. разд. 9.2), в высоких широтах преобладает восточный, в умеренных — западный, в тропических — снова восточный перенос воздуха.

Пояса давлений, конечно — не сплошные «ленты». Неоднородность подстилающей поверхности (океаны — материки, равнины — горы и т.п.) приводит к тому, что пояса «разрываются» на центры действия атмосферы, т.е. области повышенного и пониженного давления с замкнутыми изобарами. Замкнутую барическую систему с низким давлением в центре называют *циклоном (Н)*, с высоким давлением в центре — *антициклоном (В)* (рис. 9.8).

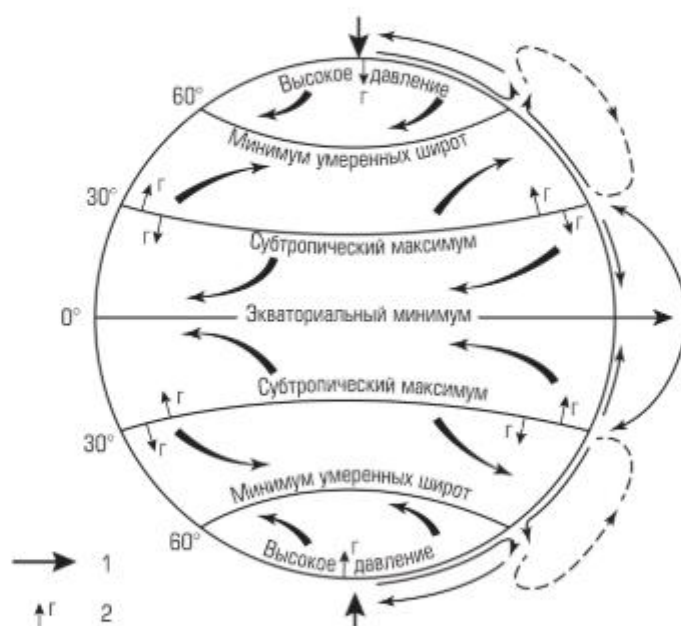


Рис. 9.7. Распределение атмосферного давления и ветров у земной поверхности; справа — меридиональный разрез направления ветра (по А.П. Шубаеву): 1 — направление ветра; 2 — направление горизонтального барического градиента

В результате на многолетних приземных барических картах четко выделяются обширные устойчивые центры давления. Это, например, Исландский и Алеутский минимумы, Азорский и Азиатский максимумы и др. (рис. 9.9). С такими крупномасштабными циклонами и антициклонами и связаны воздушные течения общей циркуляции

атмосферы, определяющие климатические особенности в зонах их действия.

*Пассаты* — устойчивые в течение года восточные ветры в обращенных к экватору частях субтропических малоподвижных антициклонов, умеренной скорости (в среднем 5...6 м/с у земной поверхности).

*Муссоны* — устойчивые сезонные воздушные течения с резким изменением преобладающего направления от зимы к лету и от лета к зиме. Причина их — различия в нагревании и охлаждении материков и океанов в течение года. В летнее время суша нагревается сильнее, чем океан, зимой же она, наоборот, охлаждается больше. Температурные различия, образующиеся между сушей и океаном, создают различия в распределении давления воздуха. Над сушей летом устанавливается область пониженного давления, зимой — повышенного давления; над океанами же, наоборот, летом господствует высокое давление, зимой — низкое. Вследствие этого летом создается ток воздуха с океана на сушу в виде океанического муссона, зимой — с суши на океан в виде материкового муссона.

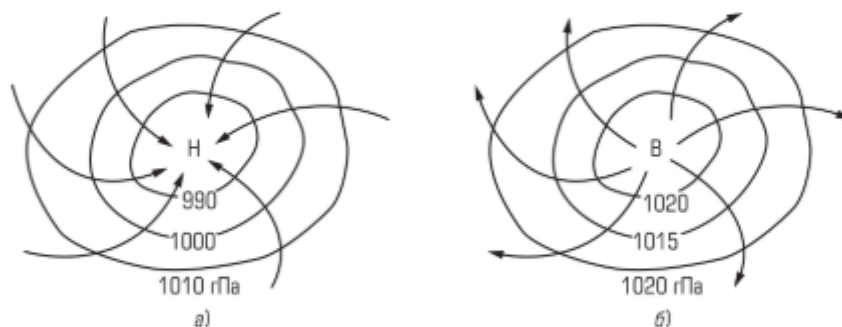
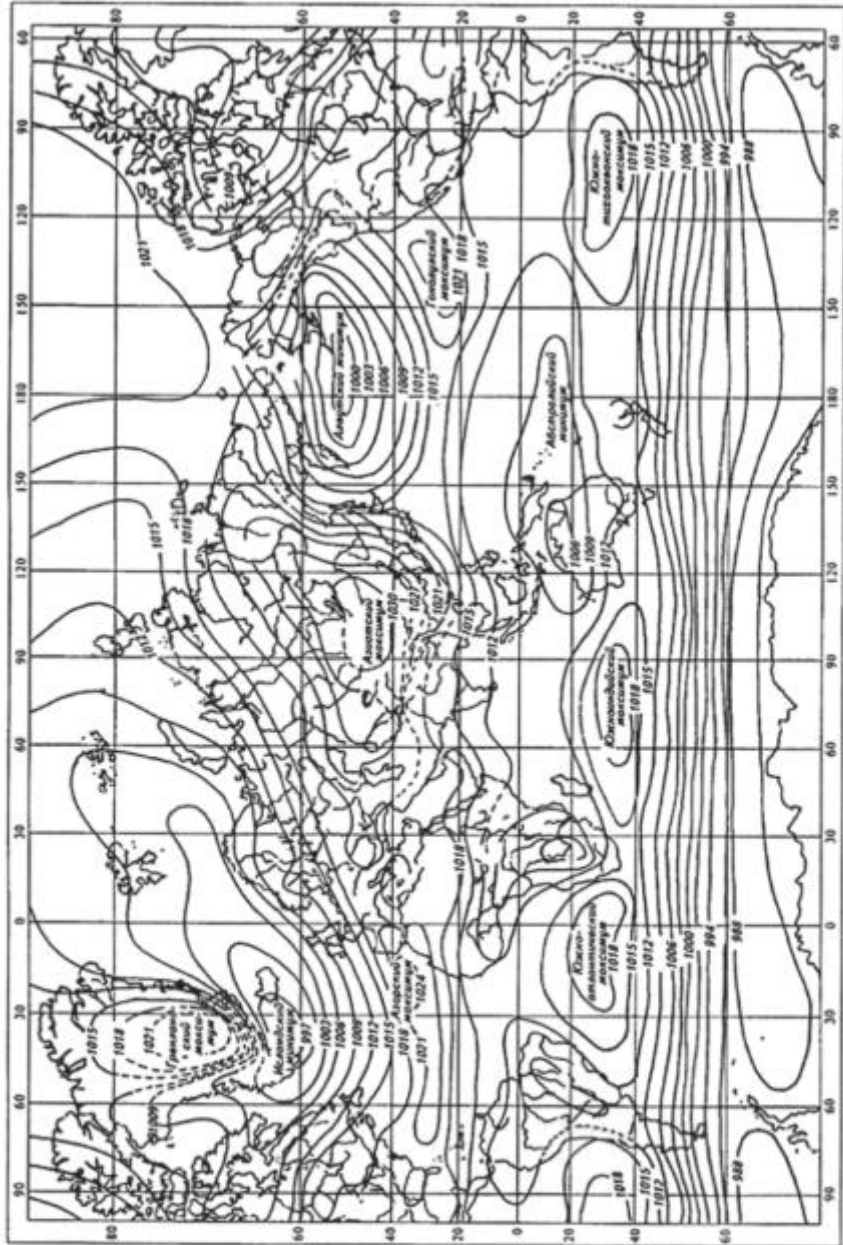


Рис. 9.8. Схемы барических систем и направление ветра в них:  
а — циклон; б — антициклон (Северное полушарие, приземный слой)

В тропиках муссонная циркуляция наблюдается в Экваториальной Африке, в северной части Индийского океана и Южной Азии, в Северной Австралии; в умеренных широтах — на российском Дальнем Востоке, на северо-востоке Китая, в Корее, Японии.

*Интенсивная циклоническая деятельность*, т.е. постоянное возникновение, развитие и перемещение циклонов и антициклонов, характерна для умеренных широт. В течение года во внетропических широтах каждого полушария возникают сотни подвижных циклонов и антициклонов, что вызывает частую и резкую смену направления ветра у земной поверхности и погоды в целом.



a)

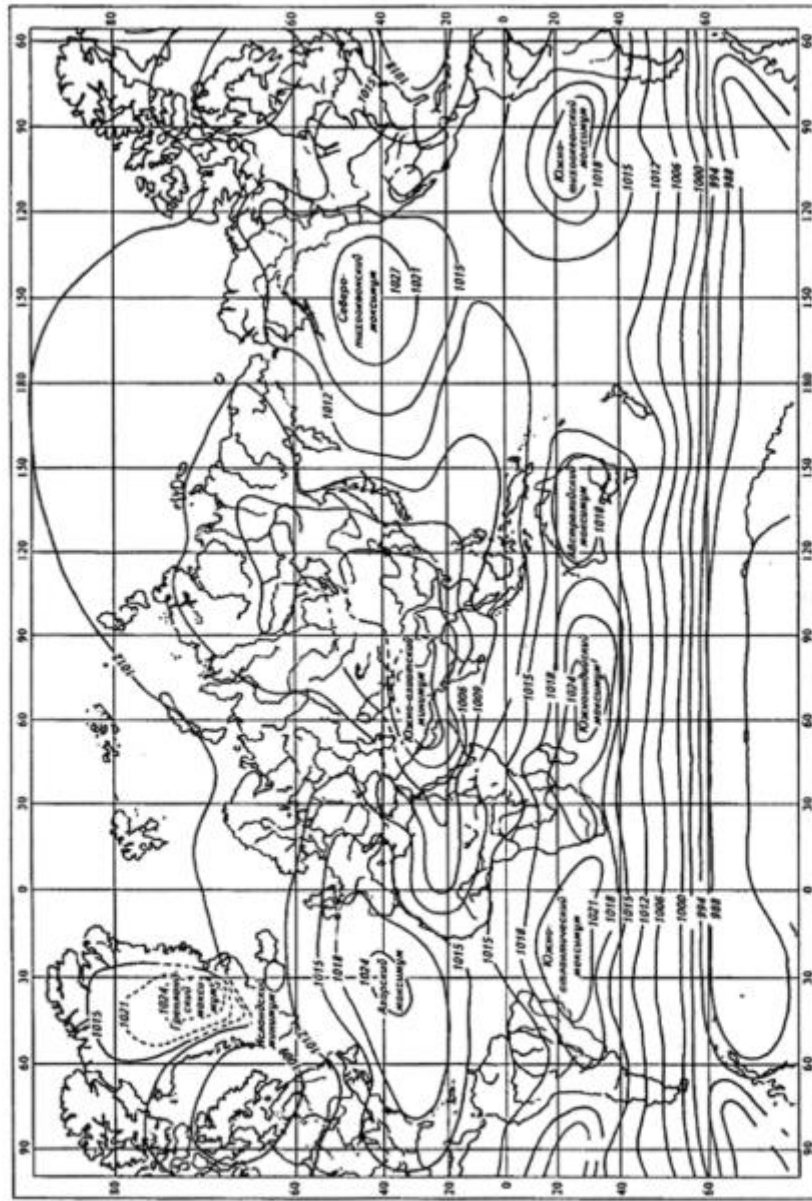


Рис. 9.9. Давление воздуха на уровне моря, гПа (по Д.И. Стехновскому):  
 а — январь; б — июль

## 9.6. МЕСТНЫЕ ВЕТРЫ

Воздушные течения в нижнем слое атмосферы, характерные для определенных ограниченных географических районов, называют *местными ветрами*. Происхождение их различно.

Местные ветры могут быть результатом разного нагревания земной поверхности (ветры термического происхождения — бризы, горно-долинные), механического возмущения воздушных течений, вызванных рельефом местности (фён, борá), и т.д.

*Бризами* называют ветры, наблюдающиеся на плоских побережьях морей и крупных водоемов и характеризующиеся сменой их направления в течение суток: ночью они направлены с суши на водные поверхности, днем, наоборот, — с водной поверхности на сушу (рис. 9.10).

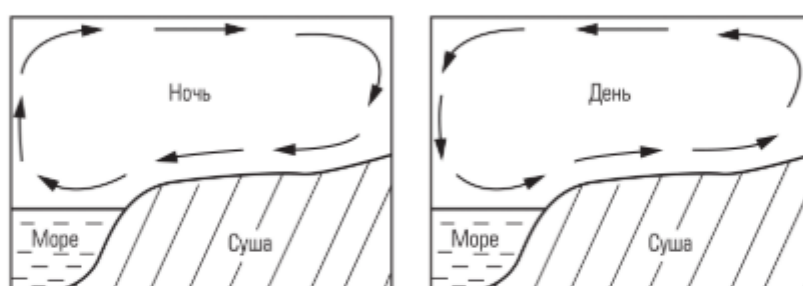


Рис. 9.10. Схема бризов

Бризы связаны с суточным ходом температуры деятельной поверхности. Днем поверхность суши нагревается больше, чем поверхность водоема, поэтому атмосферное давление над ней понижается и в слое до 1...2 км возникает перенос воздуха с водоема на сушу — дневной (морской) бриз. Ночью, наоборот, водоем теплее суши и распределение давления обратное: над сушей больше, чем над водой. И в нижних слоях создается перенос воздуха с суши на водоем — береговой (ночной) бриз. Береговой бриз меняется на морской незадолго до полудня, морской на береговой — вечером. Выше 1...2 км наблюдается перенос воздуха в обратном направлении — *антибриз*, образующий вместе с бризом замкнутую циркуляцию.

От береговой линии бризы распространяются в глубь суши или моря на десятки километров. Скорость ветра при бризах — 3...5 м/с.

Морские бризы оказывают заметное влияние на условия погоды в прибрежной полосе суши: понижают температуру (на 2...3 °С и более) и повышают влажность воздуха (на 10...20% и более). Особенно резко это выражено в тропиках, в областях антициклонов.

В России бризы наблюдаются в теплое время года на побережьях Черного, Азовского, Каспийского и Балтийского морей. На побережьях озер, рек, водохранилищ бризы выражены слабо и распространяются на сушу лишь на небольшое расстояние от побережья.

*Горно-долинные ветры* представляют собой местную циркуляцию с суточной периодичностью, возникающую вследствие различий в нагревании и охлаждении воздуха над хребтом и в долине. Днем долина и нижние части склонов нагреваются сильнее, чем вершины, и теплый воздух поднимается по склонам вверх, формируя долинный ветер. Ночью со склонов гор стекает холодный, тяжелый воздух — горный ветер. Если долина слабо продуваема, то воздух здесь застаивается и еще больше охлаждается. Весной горный ветер может вызвать понижение температуры, опасное для цветущих садов.

*Фён* — теплый, иногда горячий, сухой и порывистый ветер, дующий временами с гор в долины. Фён образуется при перетекании воздуха через высокие горные хребты, расположенные перпендикулярно к воздушному потоку. Поднимаясь по наветренной стороне горы, воздух охлаждается, пар в нем конденсируется, образуются облака, могут выпасть осадки. Перевалив через хребет и опускаясь по склону, воздух нагревается, оставшийся в нем водяной пар удаляется от состояния насыщения, и воздух приходит в долину с низкой относительной влажностью и высокой температурой (рис. 9.11). Чем больше высота, с которой опускался воздух, тем выше температура фёна.

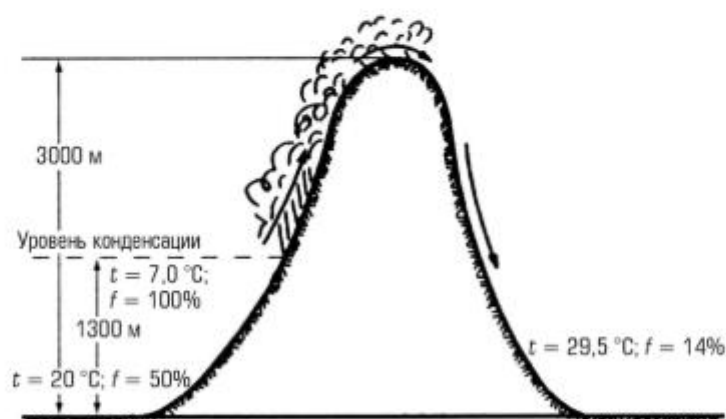


Рис. 9.11. Схема образования фёна

Фёны наблюдаются в течение всего года, но наиболее часто — зимой и весной. Весной продолжительные и интенсивные фёны ускоряют таяние снега в горах, что приводит к повышению уровня и

разливу рек. Зимой фены нередко вызывают снежные обвалы в горах. Летом фён своей высокой температурой и низкой влажностью отрицательно действует на растительность, а длительные сильные фёны могут вызвать засуху на значительной территории. Чаще всего фён продолжается менее суток, в отдельных случаях — до 5 сут. и более.

В горах фёновая погода наблюдается часто: в Кутаиси (Кавказ) — около 115, в Инсбруке (Альпы) — 80 сут. в году. В каждой стране этот ветер имеет свое название, например в Италии — сирокко.

На территории России фёны хорошо выражены на Кавказе и Алтае.

*Борá* — штормовой, порывистый и холодный ветер, дующий с низких горных хребтов в сторону теплого моря. Образуется борá преимущественно в холодное время года, когда над охлажденным континентом устанавливается область повышенного давления. При таком распределении давления холодный воздух начинает двигаться в сторону более теплого моря.

Благоприятные условия для развития боры в России имеются, например, в районе Новороссийска, расположенного на северо-восточном берегу Черного моря и отделенного сравнительно невысоким горным хребтом от внутреннего нагорья. Зимой это нагорье сильно охлаждается и возникает большая температурная разница с теплым морским побережьем. Если с севера к Черному морю приближается еще и холодный арктический воздух, то возникает большой барический градиент, обуславливающий ветры со скоростями до 40 м/с и



Рис. 9.12. Обледенение набережной во время боры (г. Новороссийск)



более. Холодный ветер, врываясь в бухту, разбрызгивает воду, которая, оседая на судах и береговых сооружениях, замерзает и покрывает их льдом. На набережной слой льда иногда достигает толщины 2...4 м (рис. 9.12). Борá наносит значительный ущерб городу и порту: срывает крыши, разрушает линии связи и электропередачи, небольшие суда выбрасывает на берег и т.д.

В Новороссийске ее называют норд-остом, на Апшеронском полуострове — нордом, на Байкале — сáрмой, в долине Роны (Франция) — мистралью. Сильная борá бывает также на Новой Земле и в других местах. Дует борá от одних суток до недели.

## 9.7. ЗНАЧЕНИЕ ВЕТРА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ветер способствует перемешиванию воздуха, поддерживая постоянство газового состава атмосферы. Он переносит влажный воздух с океанов и морей в глубь материков, обеспечивая растения влагой.

Благоприятность воздействия его на растения и состояние деятельной поверхности зависит главным образом от скорости, времени появления и продолжительности.

Ветер имеет и чисто биологическое значение для ветроопыляемых культур. Энергию ветра широко используют в сельском хозяйстве. Ее применяют для выполнения различных работ. Ветер вращает двигатели мельниц и электростанций, что позволяет снабжать водой из колодцев и рек огороды и поля. Во влажные вёсны ветер способствует подсыханию верхних слоев почвы, зерна в валках при отдельной уборке хлебов, что позволяет проводить выборочные полевые работы в более ранние сроки.

Отрицательное действие ветра заключается в увеличении непродуктивного испарения с поверхности почвы, обуславливающего почвенную засуху, и в усилении повреждения растений при суховеях. Сильные ветры (ураганы) разрушают постройки, мосты, линии связи и электропередачи, вызывают метели, пыльные бури, эрозию почвы, наводнения, полегание хлебов и т.д.

Ветер часто причиняет плодовым деревьям механические повреждения: ломает ветви, сучья, а иногда опрокидывает деревья с корнями. Явление поломки деревьев ветром называют *буреломом*, явление же опрокидывания деревьев с корнями — *ветровалом*. От ветровала наиболее сильно страдают деревья со слабо развитой корневой системой, например яблони на карликовом подвое.

Ветер иногда является большой помехой садоводству и пчеловодству. Сильные ветры препятствуют лёту насекомых и пчел, что ухудшает условия опыления садов, вызывают иссечение листьев, обрыв цветков и плодов. Поэтому с давних времен сады для защиты от ветра обсаживают деревьями и кустарниками.

Большой вред причиняет ветер, перенося семена сорняков, а также вредителей сельскохозяйственных растений с одного поля на другое. В период созревания зерновых культур сильный ветер выбивает зерно из метелки или колоса и осыпает его на землю.

Скорость ветра и его направление необходимо учитывать при подкормке полей удобрениями и опылении ядохимикатами садов с самолетов и вертолетов.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое ветер? Почему он возникает?
2. Как представляется распределение давления по земному шару на синоптических картах?
3. Что такое циклон и каково направление ветра в нем?
4. Что такое антициклон и каково в нем направление ветра?
5. Перечислите ветры общей циркуляции атмосферы.
6. Ветры какого направления преобладают в умеренных широтах Северного полушария и почему?
7. Назовите местные ветры. Каковы причины их возникновения?
8. Как измеряют атмосферное давление?
9. Как измеряют направление и скорость ветра?
10. Как строится роза ветров и для чего она используется?
11. Каково значение ветра в сельском хозяйстве?

*Погодой* называется непрерывно меняющееся физическое состояние атмосферы в конкретной местности в данный момент или за некоторый промежуток времени (сутки, неделя, месяц). То или иное состояние атмосферы обуславливается физическими процессами в ее нижних слоях, происходящими при взаимодействии воздушных масс с подстилающей поверхностью.

С качественной и количественной стороны физическое состояние атмосферы выражается через так называемые *метеорологические величины*: температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, облачность, ветер и др. Как отмечалось ранее, они находятся между собой в тесной взаимосвязи, проявляются в сложных и изменчивых сочетаниях.

Метеорологические величины изменяются в пространстве и времени, поэтому погода часто отличается большим разнообразием и изменчивостью. Различают периодические и непериодические изменения погоды.

*Периодические изменения погоды* — изменения, обусловленные суточным и годовым ходом метеорологических элементов, т.е. зависящие от суточного и годового вращения Земли. Суточный и годовой ход важнейших метеорологических характеристик описан в предыдущих главах.

*Непериодические изменения погоды* связаны сдвижением воздушных масс различного географического происхождения. Эти массы обладают неодинаковыми физическими свойствами — температурой, влагосодержанием и т.д. Погода зависит от того, какая воздушная масса приходит в данное место. Перемещение воздушных масс вызывает в районах, через которые они проходят, значительные изменения погоды. Некоторые воздушные массы, не свойственные географическому расположению какого-либо региона, нарушают нормальный ход метеорологических элементов, т.е. уменьшают или даже перекрывают периодические изменения погоды.

Несовпадение фазы периодических и непериодических изменений обуславливает наиболее резкие изменения погоды. Например, весной постепенно увеличивается приход солнечной радиации, с каждым днем все больше прогреваются почва и воздух — происходит периодическое изменение погоды, обусловленное годовым вращением Земли. Но если в какой-либо день в данный район с утра вторгается арктический воздух, то температура начинает резко снижаться, и в полдень может стать даже холоднее, чем было в прошлую ночь. Следовательно, нормальный суточный ход температуры воздуха нарушается. В последующие дни и недели может стать еще холоднее, тогда нарушается и ее годовой ход.

## 10.1. ВОЗДУШНЫЕ МАССЫ

В процессе общей циркуляции атмосферы (см. разд. 9.5) воздух тропосферы расчленяется на отдельные воздушные массы, занимающие по площади миллионы квадратных километров и отличающиеся одна от другой своими свойствами, а потому и характером погоды.

Конкретная воздушная масса характеризуется вполне определенными физическими свойствами (прозрачность воздуха, температура, влагосодержание и т.д.), по которым она отличается от другой воздушной массы. Так как воздушная масса обладает приблизительно однородными физическими свойствами, то и погода на территории, занимаемой данной воздушной массой, будет также более или менее однородной. Если же воздушная масса сменяется другой массой, с иными физическими свойствами, то следствием этой смены будет изменение погоды. Особенно резкие изменения погоды совершаются при прохождении через данное место зоны раздела между двумя различными массами.

Физические свойства воздушной массы зависят от того, в каких условиях она формируется. Эти условия определяются географическим положением очага формирования воздушной массы, т.е. радиационными условиями и свойствами подстилающей поверхности данного района, от чего зависят условия энергомассообмена, что рассматривалось ранее.

Различают следующие основные типы воздушных масс:

- арктические (антарктические), формирующиеся в Арктике (Антарктике);
- умеренных широт (полярные), формирующиеся в умеренных широтах;
- тропические, формирующиеся в субтропических и тропических широтах;
- экваториальные, формирующиеся в экваториальном поясе Земли.

В каждом типе воздушных масс выделяется морской или континентальный подтип в зависимости от того, над океаном или над сушей сформировалась данная масса. Для каждого из этих типов и подтипов характерны свой интервал значений температуры у земной поверхности и на высотах, свои значения влажности, дальности видимости и т.д.

Так как атмосферное давление на деятельной поверхности неодинаково (см. гл. 9), воздушные массы не остаются неподвижными, а непрерывно перемещаются над земной поверхностью. Как только меняется подстилающая поверхность, тут же начинают изменяться физические свойства массы. Например, летом континентальная воз-

душная масса, переместившись на водную поверхность, постепенно начинает передавать часть своего тепла воде, и, следовательно, температура воздуха понижается. В то же время она обогащается водяным паром, ее влажность повышается. В результате взаимодействия с водной поверхностью континентальная воздушная масса начинает постепенно приобретать свойства морской воздушной массы. Такое перерождение воздушных масс называют *трансформацией*.

Кроме того, есть более общая классификация воздушных масс — лишь по температуре. Воздушные массы, перемещающиеся с более холодной подстилающей поверхности на более теплую, называют *холодными массами*. На своем пути холодная воздушная масса вызывает похолодание в тех районах, в которые она приходит. Однако при продвижении она сама постепенно прогревается от земной поверхности. Летом в ней обычно возникают большие вертикальные градиенты температуры, развивается конвекция с кучевыми и кучево-дождевыми облаками и ливневыми осадками.

Воздушные массы, перемещающиеся с более теплой на более холодную подстилающую поверхность, называют *теплыми массами*. Они приносят потепление, но сами охлаждаются снизу, от чего в нижних слоях возникает инверсионное распределение температуры с образованием слоистообразных облаков, туманов.

## 10.2. АТМОСФЕРНЫЕ ФРОНТЫ

Различные воздушные массы разделены между собой сравнительно узкими переходными зонами — *атмосферными фронтами*. Длина таких зон — тысячи километров, ширина — всего лишь десятки километров, толщина в вертикальном направлении — несколько сотен метров. Так как ширина и толщина фронта очень невелики в сравнении с длиной, то фронт условно можно представить как *поверхность раздела* между воздушными массами, которая в пересечении с земной поверхностью образует *линию фронта*.

В зоне фронта при переходе от одной воздушной массы к другой метеорологические величины (температура и влажность воздуха, ветер и др.) резко меняются.

Фронты бывают теплыми и холодными. Фронт, перемещающийся в сторону холодного воздуха, называют *теплым*. При этом теплый воздух натекает на холодный, холодный же воздух отступает перед ним (рис. 10.1, а). Одновременно теплый воздух медленно и спокойно скользит вверх над поверхностью фронта и охлаждается. Это приводит к конденсации водяного пара и образованию облаков. В нижнем ярусе образуются слоисто-дождевые облака (Ns), из которых выпадают обложные осадки. При дальнейшем поднятии и охлаждении воздуха образуются высоко-слоистые (As) облака.

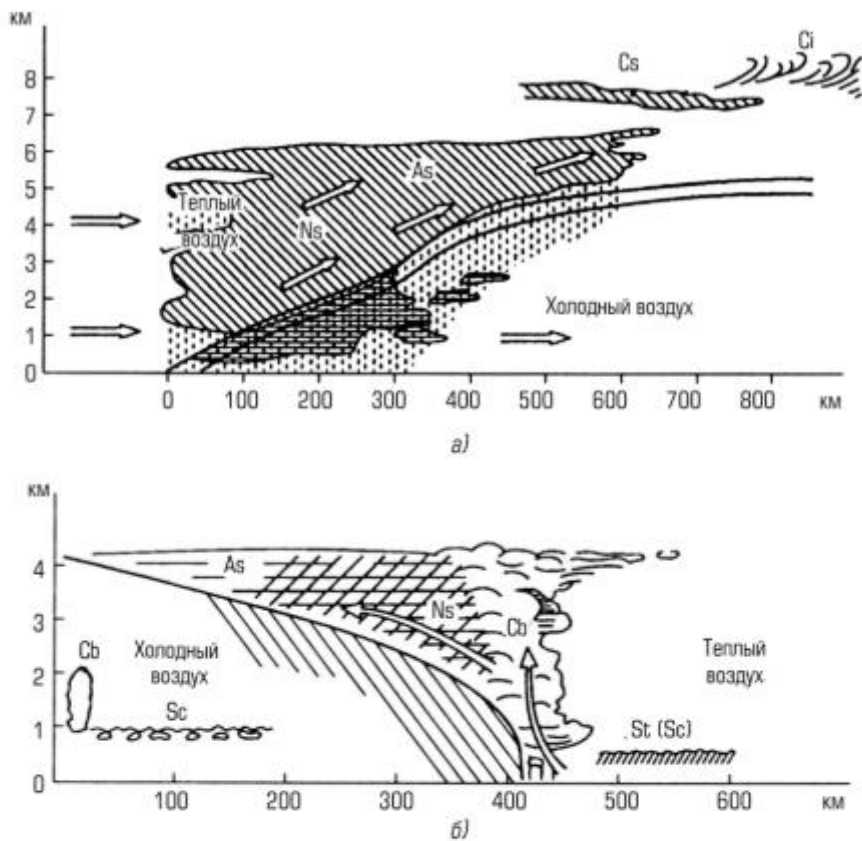


Рис. 10.1. Схема вертикального строения:  
 а — теплого фронта; б — холодного фронта первого рода

Из этих облаков осадки (тоже обложные) выпадают, но летом они, как правило, не достигают земной поверхности, испаряясь по пути. В верхнем ярусе при дальнейшем скольжении воздуха образуются перисто-слоистые (Cs) и перистые (Ci) облака. Эти облака осадков не дают. Ширина облачной зоны теплого фронта достигает 600...900 км, зона осадков — 300...400 км.

При приближении теплого фронта сначала появляются перистые облака, часто перистые когтевидные (см. рис. 6.5), сменяющиеся затем перисто-слоистыми. Давление воздуха понижается, и тем значительнее, чем больше разность температур между теплым и холодным воздухом. Температура воздуха медленно повышается. Перисто-слоистые облака при дальнейшем продвижении фронта сменяются высоко-слоистыми, а последние — слоисто-дождевыми.

*Холодным фронтом* называют фронт, который перемещается в сторону теплого воздуха, вытесняя его. Поверхность раздела между теплым и холодным воздухом у земли в данном случае очень круто опускается вниз (см. рис. 10.1, б). Облачная система такого фронта аналогична системе облаков теплого фронта, но проходит в обратном порядке. Непосредственно перед фронтальной поверхностью в результате большой ее кривизны возникают бурные восходящие движения воздуха. Вследствие этого передняя часть облачной системы состоит из кучево-дождевых (Cb) облаков. За линией фронта облачная система переходит в слоисто-дождевые (Ns), а затем по мере удаления от линии фронта в высоко-слоистые (As) и перисто-слоистые (Cs) облака.

Осадки при прохождении холодного фронта носят вначале ливневый характер, они часто сопровождаются грозами, затем переходят в обложные. Ширина зоны осадков вследствие более крутого наклона фронтальной поверхности меньше, чем у теплого фронта (до 100 км).

Чаще всего приближение холодного фронта сопровождается понижением давления, появляются кучевые облака, быстро развивающиеся в высоту, затем кучево-дождевые. С первыми редкими крупными каплями дождя (снежинками) налетает первый порыв ветра, затем ветер усиливается, начинаются сильные ливневые осадки, температура понижается.

### 10.3. ПОГОДА В ЦИКЛОНЕ И АНТИЦИКЛОНЕ

Перенос воздушных масс происходит в системе циклонов и антициклонов. Как отмечалось в разд. 9.5, в центре циклона создается область пониженного давления, а к его периферии оно возрастает. Поэтому воздух со всех сторон стекает к центру циклона по спиралеобразным кривым, закручивающимся в Северном полушарии против часовой стрелки. В центре циклона эти сходящиеся потоки вынуждены подниматься вверх. Поднимаясь, воздух попадает в слои атмосферы с меньшим давлением и расширяется. При расширении он охлаждается, образуются облака и выпадают осадки. Поэтому погода в центре циклона всегда бывает ненастной.

Циклонические вихри возникают на атмосферных фронтах, при этом в циклон вовлекаются обе (теплая и холодная) воздушные массы, разделяемые фронтами.

Схема строения циклона и распределения погоды в различных частях его показана на рис. 10.2, где в центре дана общая схема типичного циклона, сверху — вертикальное сечение, сделанное севернее центра циклона по линии *а-б*, внизу — вертикальное сечение, проведенное южнее его центра по линии *в-г*.

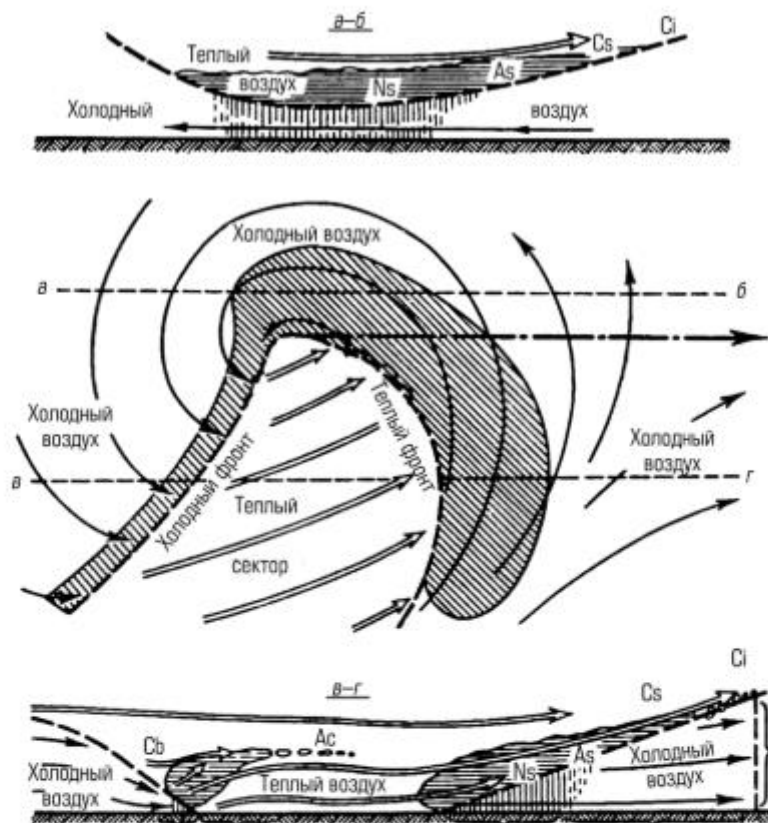


Рис. 10.2. Схема строения циклона (по Л.П. Шубаеву). Заштрихованная часть в центре рисунка (план) — зона выпадения осадков

Приведенная схема наглядно показывает, какие характерные изменения погоды будут происходить в случае, если циклон при своем перемещении захватывает местность северной или южной частью. Если циклон накрывает местность южной частью (разрез по линии  $в-г$ ), то здесь происходят изменения погоды, свойственные изменениям ее при прохождении теплого и холодного фронтов: сначала проходит теплый фронт, затем теплый сектор циклона и, наконец, холодный фронт. Перед прохождением теплого фронта появляются перистые облака (Ci), они постепенно переходят в перисто-слоистые (Cs), последние — в высокослоистые (As), и, наконец, появляются слоисто-дождевые облака (Ns), из которых выпадают осадки. Ветер постепенно усиливается, давление понижается, температура повышается, и район «накрывает» теплый сектор. Обычно воздушная масса теплого сектора устойчивая, т.е. с небольшими вертикальными



градиентами температуры. Поэтому погода в теплом секторе характеризуется слоистыми, высоко-кучевыми облаками, туманами, моросящими осадками, плохой видимостью. В нем наблюдаются самые высокие температуры для данного циклона. Циклон в этой стадии развития (с теплым сектором) называют *молодым циклоном*. Затем через данную местность проходит холодный фронт с сильными ливневыми осадками. Ветер перед прохождением фронта усиливается, делается порывистым, а во время прохождения фронта резко меняет направление. Давление перед фронтом падает, а после прохождения фронта быстро растет. Температура воздуха после прохождения фронта резко понижается.

Если центр циклона проходит южнее данного места, т.е. циклон захватывает местность своей северной частью (разрез по линии *a—b*), где фронтов нет, то резких изменений погоды не наблюдается, так как внизу, у земной поверхности, все время остается холодный воздух. Теплый же воздух располагается в более высоких слоях, где образуются слоистообразные облака, из которых выпадают осадки.

Вместе с циклоном перемещаются и фронты. Однако холодный фронт вследствие непрерывного подтока холодного воздуха перемещается быстрее теплого фронта. Поэтому теплый сектор циклона суживается, фронты постепенно сближаются и, наконец, смыкаются. Соединяются также в одну зону осадки теплого и холодного фронтов. Теплый воздух при смыкании фронтов вытесняется вверх. Явление смыкания фронтов в циклоне носит название *окклюзии* или закрытия циклона. Циклон затухает, воздух у поверхности становится однородным, давление и температура выравниваются: весь теплый воздух поднялся вверх.

Скорость движения циклонов в среднем составляет 30...40 км/ч, или 700...900 км/сут. Цикл развития циклона — 4...7 сут.

В Северном полушарии одновременно бывает до 20 циклонов. В Северной Атлантике в течение года наблюдается около 1000 циклонов, а в северной части Тихого океана — до 1500. Циклоны, образующиеся в тропических районах Тихого океана, в районах Желтого моря и Филиппинских островов, носят местное название *тайфунов*, а в Карибском море и Мексиканском заливе — *ураганов*. Это более жесткие, чем внетропические, возмущения со штормовыми или ураганскими ветрами: скорость ветра достигает 30 м/с и более. При своем движении тропический циклон вызывает сильнейшее волнение, плоские берега, вблизи которых он проходит, иногда затапливаются гигантскими волнами высотой до 10...15 м. За год в среднем возникает около 70 мощных тропических циклонов. А всего на Земле в целом ежегодно регистрируется до 15 тыс. циклонов.

Между циклонами возникают и развиваются подвижные *антициклоны* — барические системы с высоким давлением в центре и вет-

рами, направленными в Северном полушарии к периферии по часовой стрелке (см. рис. 9.8).

В связи с нисходящими движениями воздуха, развивающимися в центральной части антициклона, здесь создается сухая ясная или малооблачная погода. Летом она может вызвать атмосферную засуху. Зимой в антициклоне образуются глубокие приземные инверсии, стоит морозная погода. Ветер в центральной части антициклона обычно слабый.

На окраинах антициклона наблюдаются условия погоды, в общих чертах сходные с условиями погоды в примыкающих секторах соседних циклонов.

Северная окраина антициклона (см. рис. 9.1) обычно непосредственно связана с теплым сектором соседнего циклона. Здесь в холодное полугодие часто наблюдается сплошная облачность, иногда идут слабые осадки. Летом в этом секторе антициклона облачность небольшая. Восточная часть антициклона граничит с тыловой частью циклона. Летом в дневные часы здесь образуются облака кучевых форм, выпадают ливневые дожди и гремят грозы. Зимой может наблюдаться безоблачная погода. Западная окраина антициклона примыкает к передней части области низкого давления. В холодное полугодие в этой части антициклона часто отмечаются слоисто-кучевые облака, из которых выпадают слабые осадки. Летом здесь при высокой температуре воздуха и значительной влажности нередко развиваются кучево-дождевые облака и гремят грозы. Южная окраина антициклона примыкает с северной части циклона. Здесь нередко наблюдаются слоистые облака, дающие морозящие осадки. В этой части антициклона создаются большие перепады давления, поэтому нередко усиливается ветер и зимой возникают метели.

Различают *подвижные* и *стационарные* антициклоны. Первые в Северном полушарии образуются в Арктике и перемещаются в умеренные широты, принося сюда холодный сухой воздух, вторые — преимущественно над океанами (Азорский, Гавайский и др.). Зимой в умеренных широтах малоподвижные антициклоны формируются над материками, сохраняясь в одной и той же области по несколько недель и даже месяцев. Пример последнего — Сибирский (Азиатский) антициклон, обуславливающий здесь зимой очень морозную погоду.

На европейской части России погода и ее изменения определяются активной циклонической деятельностью (чередованием циклонов и антициклонов). Циклоны поступают сюда чаще всего с северной части Атлантического океана через Скандинавию или Прибалтику. Но некоторые циклоны приходят со Средиземного и Черного морей, антициклоны — чаще с северо-востока и востока.

#### 10.4. ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ

Погода имеет большое значение в хозяйственной деятельности человека. Неблагоприятные условия погоды часто причиняют большой ущерб. По данным Всемирной метеорологической организации, экономические потери от стихийных бедствий, связанных с погодными явлениями (ураганы, смерчи, снежные бури, наводнения, засухи и др.), ежегодно составляют десятки миллиардов долларов.

Поэтому для различных отраслей хозяйства каждого государства большое значение имеют информация о текущем состоянии погоды, а также предсказание ее на ближайшее время. Эту работу в России осуществляет так называемая *служба погоды*, опирающаяся на большую сеть метеорологических станций. Последние производят непрерывные наблюдения за метеорологическими величинами (температурой, давлением, ветром и т.д.) в определенные сроки, зашифровывают их по особому международному коду и затем передают областным центрам по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Гидрометцентру, который возглавляет в России службу погоды.

По сведениям, полученным с метеорологических станций за тот или иной срок, в этих центрах составляют так называемую *синоптическую карту погоды* (рис. 10.3). Последняя представляет собой географическую карту, на которую условными обозначениями наносят результаты наблюдений за состоянием погоды, полученные со станций за определенный срок. Затем проводят изобары и линии атмосферных фронтов.

Синоптическая карта дает представление о состоянии погоды сразу на большой территории. По ней можно установить расположение фронтов и областей фронтальных осадков, а также выяснить расположение циклонов и антициклонов. Кроме циклонов и антициклонов на карте выделяют и другие барические системы с незамкнутыми изобарами: ложбину (полосу пониженного давления), гребень (полосу повышенного давления) и др.

Синоптические карты погоды составляют восемь раз в сутки. Это дает возможность не только выяснить пути, по которым до сего времени перемещались воздушные массы, фронты, циклоны и антициклоны, но и установить причины и изменения физических свойств воздушных масс за время их перемещения. Анализируя синоптические карты, можно с той или иной вероятностью наметить пути и скорости перемещения циклонов и антициклонов, изменения и перемещения фронтов и связанных с ними зон облачности и осадков, а также распространение теплых и холодных воздушных масс на ближайшие 24...48 ч, т.е. предусмотреть изменения погоды, которые

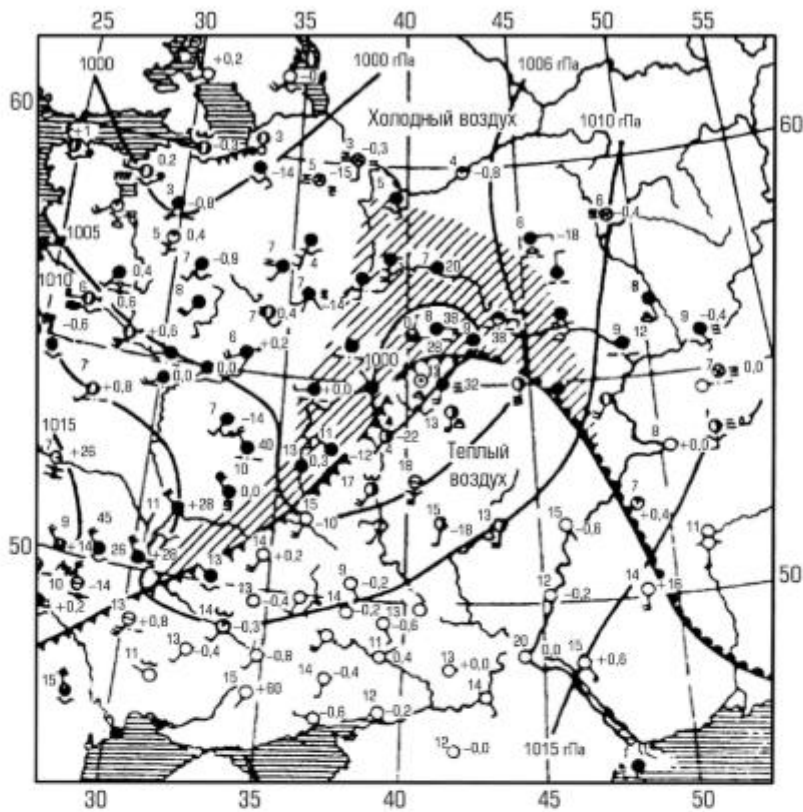


Рис. 10.3. Синоптическая карта (упрощенно)

произойдут в связи с этими перемещениями и трансформациями. Такой метод предсказания погоды называют синоптическим.

Термин «синоптический метод» (от греч. *synoptikos* — способный все обозреть) означает метод одновременного обзора обширной территории.

Предсказания погоды по синоптическому методу на короткий срок имеют достаточно высокую оправдываемость: на двое суток вперед оправдываемость в среднем составляет 80...85%, т.е. из 100 даваемых прогнозов 80...85 бывают удачными и 15...20 — в той или иной степени неудачными. Последнее обусловлено недостатком данных и недостаточной изученностью атмосферных процессов. Очень трудно дать точный прогноз при быстрых изменениях этих процессов.

В последние десятилетия синоптическая информация, ранее включавшая в себя в основном наземные данные, обогатилась дан-

ными аэрологическими наблюдениями, т.е. наблюдений в свободной атмосфере. Синоптики все шире используют спутниковую информацию, получаемую для океанов и труднодоступных частей суши, где нет метеостанций. Например, при фотографировании облачных систем со спутников можно обнаружить зарождение опасных тропических циклонов над океанами (см. рис. 1.2).

По данным со спутников определяют радиационный и тепловой балансы системы Земля — атмосфера, выявляют новые важные закономерности в распределении солнечной энергии на Земле, которые необходимо учитывать при составлении долгосрочных прогнозов погоды.

Очень перспективны метеорологические спутники, которые автономно или по команде с Земли могут менять высоту полета и направление своего движения, например маневрирующие космические аппараты «Полет-1» и «Полет-2» и др. При необходимости их можно направить в район урагана для детального его наблюдения.

Наряду с синоптическим методом Росгидрометцентр разрабатывает и внедряет *гидродинамические (численные) методы*, позволяющие путем численного интегрирования уравнений гидродинамики и термодинамики, описывающих текущее и дальнейшее состояние атмосферы, составлять прогноз изменения метеорологических величин в численной форме. Решение сложных уравнений численных прогнозов стало возможным с появлением быстродействующих компьютеров.

*Краткосрочные прогнозы погоды* — на несколько часов, на 1...3 сут. вперед — составляют на основе синоптического и численных методов.

С помощью численных методов создается «скелет» краткосрочного прогноза: рассчитывают будущее барическое поле, вертикальные потоки в атмосфере, ветер и некоторые другие метеорологические величины. Остальные особенности погоды прогнозист подбирает в соответствии с этим «скелетом» на основе синоптического метода. Численные методы прогнозов повысили их оправдываемость, расширили площади территорий, для которых составляют прогноз, увеличили его заблаговременность.

Для хозяйства страны большое значение имеют *долгосрочные прогнозы погоды* (на неделю, месяц, сезон). Составление долгосрочных прогнозов является одной из самых актуальных и сложных задач во всех странах мира.

Для составления долгосрочных прогнозов широко применяется *метод аналогов* в разных его видах. Общая предпосылка этого метода состоит в том, что за одинаковыми исходными положениями в атмосфере дальнейшее развитие процессов тоже должно быть аналогичным. Поэтому, подыскивая в многолетнем архиве метео-

рологическую ситуацию в тропосфере, аналогичную существующей (например, подыскивая месяцы, аналогичные истекающему месяцу по среднему распределению давления или по аномалиям температуры и т.д.), можно и о дальнейшем ходе погоды судить по аналогии с месяцем, следующим за найденным аналогом. Трудность, однако, заключается в том, что невозможно найти в прошлом положений, совершенно сходных с настоящими по всем параметрам. А даже небольшие различия в исходном состоянии могут привести к резко отличному ходу метеорологических событий в будущем.

Существенное значение для решения долгосрочных прогнозов имеет сопоставление атмосферных процессов с процессами в Мировом океане, который является устойчиво работающим нагревателем земной атмосферы. Вследствие малого альбедо его поверхность поглощает большую часть солнечного тепла. Запасая тепло летом, океан постепенно отдает его атмосфере в холодную часть года. Это происходит несколькими путями: он нагревает воздух непосредственно над своей поверхностью, излучает тепло, поглощаемое содержащимися в воздухе водяным паром и диоксидом углерода, отдает тепло на испарение воды, пары которой затем при конденсации в воздухе выделяют его, и, наконец, выделяет тепло в воздух вместе с мельчайшими каплями водяных брызг, уносимых ветром с его поверхности при волнении. Надо отметить, что теплозапасы Мирового океана в 1000 раз и более превышают теплозапасы атмосферы. Это объясняется как большей массой и большей плотностью воды по сравнению с воздухом, так и значительно большей теплоемкостью воды. А между атмосферой и гидросферой, как отмечалось ранее, происходит постоянный взаимный обмен теплом и влагой.

Представляет интерес сопоставление атмосферных процессов с солнечной активностью, между которыми, несомненно, существуют связи.

Успешное разрешение проблемы долгосрочных прогнозов зависит от объединения усилий всех стран, так как атмосфера — это глобальное общее достояние, не имеющее границ. Поэтому при Всемирной метеорологической организации создана *Всемирная служба погоды* (ВСП).

Цель ВСП — совершенствование наблюдений за погодой, улучшение прогнозов погоды, а также ускорение сбора и обмена метеорологической информацией между всеми странами. С этой целью создана глобальная система наблюдений (ГСН). Она состоит из национальных гидрометеорологических сетей наблюдений за состоянием атмосферы, данные которых страны — члены ВМО не только используют для национальных нужд, но и добровольно предостав-

ляют для использования на международном уровне. ГСН включает в себя подсистему наземных наблюдений и космическую подсистему.

Подсистема наземных наблюдений имеет более 8000 метеорологических и около 800 аэрологических станций. Около 7000 коммерческих судов также ведут систематические метеорологические наблюдения. Кроме того, еще в 1980-е гг. было введено в эксплуатацию 350 автоматизированных метеорологических станций на суше, 100 заякоренных буев в качестве автоматических морских станций и около 200 дрейфующих буев. Для предупреждений о сильных штормах используется около 600 метеорологических локаторов. Количество автоматизированных средств постоянно увеличивается.

Космическая подсистема наблюдений состоит из 4 полярноорбитальных и 5 геостационарных метеорологических спутников, находящихся на высоте 800...1000 км. Спутники обеспечивают глобальные обзоры облачного покрова Земли, определение вертикального распределения температуры и влажности воздуха, оценку температуры земной и морской поверхностей, а также наблюдения за снежным и ледяным покровом.

Информацию о погоде на всем земном шаре собирают за 1...3 ч и передают в мировые метеорологические центры (Австралия, Россия, США). Сюда же поступает информация со спутников, кораблей погоды и т.д. В этих центрах составляют карты анализов и прогнозов для всего земного шара (или полушария) и по каналам глобальной системы телесвязи передают их каждой национальной гидрометеорологической службе для кратко-, средне- и долгосрочного прогнозирования погоды.

Для сельскохозяйственного производства все виды прогнозов имеют большое значение. Так, долгосрочные прогнозы погоды позволяют уточнять планы сельскохозяйственных работ, например, весной устанавливать сроки внесения удобрений, планировать использование техники и авиации, разрабатывать альтернативные решения, в частности, по уборке сена, когда необходимо точно выбрать способ сушки трав (в поле, стационарных сушилках или по иной технологии). В период уборки зерновых такие прогнозы помогают правильно распределять уборочную технику и трудовые ресурсы, устанавливать очередность укосов и т.д.

По краткосрочным прогнозам уточняют сроки выполнения недельного плана работ, утверждают или изменяют план.

Возможности применения прогнозов погоды велики и разнообразны, и от самих специалистов сельского хозяйства зависит, насколько правильно и эффективно они будут использованы на практике.

## 10.5. МЕСТНЫЕ ПРИЗНАКИ ПОГОДЫ

Предсказание погоды на ближайшее время для какого-либо района с большой долей вероятности можно сделать по так называемым местным признакам погоды, которые отражают физическую сущность явлений. Для этого необходимо внимательно наблюдать за погодой, подмечая характерные изменения ее элементов. Вот несколько примеров местных признаков погоды для центральных районов европейской территории России.

Малооблачная, без осадков погода сохранится, если: хорошо выражен суточный ход скорости ветра, температуры и облачности; вечером или ночью образуется приземный стелющийся туман, который рассеивается с восходом Солнца; вечерняя заря летом окрашена в золотисто-желтый цвет; атмосферное давление растет или остается без изменения.

Ненастная погода наступит, если: в солнечный день появляются перистые облака в виде нитей, перьев с коготками, переходящие в перисто-слоистые в виде тонкой белесоватой пелены, затягивающей все небо; атмосферное давление падает; нарушается нормальный суточный ход температуры, например, ночью температура повышается, ветер усиливается независимо от времени суток, цвет вечерней зари красный.

Пасмурная дождливая погода сохранится, если атмосферное давление продолжает понижаться, температура воздуха в течение суток остается почти без изменений, направление ветра не меняется (летом ветер чаще всего юго-восточный, восточный или северо-восточный, зимой — западный).

Пасмурная дождливая погода сменится хорошей погодой, если устойчиво растет атмосферное давление, наступает похолодание, усиливается ветер и резко изменяется его направление.

Весной и осенью ожидаются заморозки, если в пасмурную холодную погоду облачность уменьшается до полного прояснения к ночи, ветер слабеет.

Гроза и ливни вероятны, если летом кучевые облака, появившиеся утром, быстро развиваются и нагромождаются в виде башен, если влажность воздуха высокая и вызывает ощущение духоты.

## 10.6. ПОНЯТИЕ О КЛИМАТЕ И КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРАХ

*Климат* — это закономерная последовательность атмосферных процессов, формирующаяся в данной местности в результате взаимодействия солнечной радиации, атмосферной циркуляции и физических явлений, происходящих на подстилающей поверхности, и обуславливающая в этой местности характерный для нее много-



летний режим погоды. С количественной стороны климат характеризуется средними (нормами) и экстремальными значениями метеорологических величин (температуры и влажности воздуха, облачности, осадков, ветров и т.д.), показателями их изменчивости (среднее, среднее относительное и среднее квадратическое отклонения от нормы и др.), вероятностью и обеспеченностью тех или иных значений метеовеличин и т.д., полученных на основании многолетних наблюдений.

Область науки, изучающая условия формирования климата и климатический режим различных стран и районов, называют *климатологией*. Она также занимается проблемой изменения климата под воздействием антропогенных факторов.

Основателем климатологии в России был великий русский географ и климатолог А.И. Воейков. В своем классическом труде «Климаты земного шара, в особенности России» он дал первое и глубокое по содержанию описание климатов земного шара.

Из приведенного определения понятия климата видно, что основными климатообразующими факторами будут *солнечная радиация, циркуляция атмосферы и подстилающая поверхность*. Большое влияние на климат оказывает также *хозяйственная деятельность человека*, изменяющая физические свойства подстилающей поверхности.

Общеизвестно, что Солнце — основной источник лучистой энергии. Еще древние греки установили значение солнечной энергии для климата Земли — ведь слово «климат» в переводе с греческого означает «наклон», т.е. угол падения солнечных лучей. Действительно, чем ниже Солнце над горизонтом, тем меньше лучистой энергии приходит на земную поверхность. Количество солнечной энергии, поступающей на земную поверхность, зависит от географической широты. Последняя в данной местности определяет полуденную высоту Солнца над горизонтом и продолжительность дня и ночи, а следовательно, и приход-расход лучистой энергии Солнца. Чем дальше от экватора к полюсу, тем меньше солнечного тепла получает единица поверхности Земли из-за большего наклона солнечных лучей. Например, суммарная радиация за Полярным кругом достигает всего 2300...2500 МДж/м<sup>2</sup> в год, тогда как в тропиках она колеблется от 5850 до 9200 МДж/м<sup>2</sup>.

Значительное влияние на формирование климата оказывает атмосферная циркуляция, так как с ней связан приход в данную местность масс воздуха различного географического происхождения. Чтобы пояснить значение этого фактора, приведем данные по двум городам, расположенным приблизительно на одной и той же широте (около 45° с.ш.) на берегу моря. Но один из них — Бордо (Франция) (около 1° з.д.) — находится на берегу Бискайского залива, а другой — Владивосток (около 130° в.д.) — на берегу Японского моря. Зимы в

этих местах сильно различаются, особенно по температуре. В Бордо средняя температура воздуха в январе около  $5^{\circ}\text{C}$ , во Владивостоке — около  $-13,5^{\circ}\text{C}$ , т.е. на  $18,5^{\circ}\text{C}$  ниже. Такое различие объясняется особенностями циркуляции атмосферы в зимнее время. В Бордо зимой преобладают юго-западные ветры, приносящие теплые массы воздуха с Атлантического океана; во Владивостоке зимой дуют северо-западные ветры, приносящие холодные массы воздуха с континента — из Северо-Восточной Сибири.

Большое значение в формировании климата имеет характер подстилающей поверхности.

Особенно велико различие в воздействии на климат со стороны моря и суши. Вода обладает большой теплоемкостью и хорошей теплопроводностью, вследствие этого она медленно нагревается, но на значительную глубину и так же постепенно охлаждается. Поэтому океаны, моря и крупные озера служат регуляторами тепла, уменьшая как суточные, так и годовые колебания температуры приземного слоя воздуха. Климат же, формирующийся при преобладающем воздействии на атмосферу больших пространств суши, отличается повышенными амплитудами годового и суточного хода температуры поверхности и воздуха.

Рельеф оказывает большое влияние на климат, особенно крупные формы рельефа: горные хребты и высокие плоскогорья. В горной местности вообще создается особый тип климата, носящий название *горного климата*. При этом горы нередко служат преградой для воздушных масс, являясь границей, разделяющей области с различными климатическими условиями. Например, вся защищенная горами Кавказа полоса побережья Черного моря имеет влажную и теплую зиму: сумма осадков составляет 400...500 мм и более, средняя температура января —  $0...+5^{\circ}\text{C}$ , в Ставропольском и Краснодарском краях — соответственно 200...150 мм и  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Лесная растительность воздействует на климат прилегающей территории. Если говорится, что климат влияет на растительность, определяя ее ареалы, то в свою очередь растительный покров также влияет на климат, в частности на влагооборот.

Существенное влияние на климат оказывают морские течения. Теплые течения, направленные в высокие широты, например Гольфстрим, создают на омываемых ими берегах особый климат с очень теплой зимой и малой годовой амплитудой колебания температуры. Например, в Мурманске наблюдается такая же средняя месячная температура января, как в Волгограде, расположенном значительно южнее:  $-10^{\circ}\text{C}$ . На берегах, омываемых теплым течением, выпадает повышенное количество осадков, причем осадки часто сопровождаются грозами и бурями.

Климатические факторы действуют совместно, взаимно обуславливая друг друга. Так, атмосферная циркуляция, зависящая в основном от радиационных факторов, сама воздействует на радиационный обмен, так как в процессе переноса воздушных масс и влагооборота формируется облачный покров.

Климатические условия местности могут изменяться и под влиянием хозяйственной деятельности человека, поскольку изменяются физические свойства подстилающей поверхности. Вырубка и насаждение лесов, лесных полос, осушение болот, распашка степей, создание больших водохранилищ и т.д. — все это оказывает воздействие на тепло- и влагообмен между деятельной поверхностью и воздухом и, следовательно, на климат.

## 10.7. КЛАССИФИКАЦИЯ КЛИМАТОВ РОССИИ

Различные сочетания климатообразующих факторов создают большое разнообразие климатов на земном шаре. Существует довольно много классификаций климатов.

По классификации российского ученого, академика Л.С. Берга, выделено 12 типов климата, которые близки к ландшафтно-географическим зонам: вечного мороза, тундры, тайги, лиственных лесов умеренной зоны, муссонный умеренных широт, степей, субтропический средиземноморский, субтропических лесов, внутриматериковых пустынь умеренного пояса, тропических пустынь, саванн (тропическая лесостепь) и влажных тропических лесов.

На территории России представлены следующие типы климатов.

*Климат вечного мороза* формируется в высоких широтах Арктики и высокогорных районах (выше снеговой линии), где средняя температура июля около 0 °С, а осадков выпадает менее 200 мм в год.

*Зона климата тундры* занимает Крайний Север России, но на северо-востоке ее южная граница отодвинута на юг почти до 60° с.ш. (рис. 10.4). Климат тундры суровый, зима продолжительная. В сибирской тундре средние температуры зимой составляют –25... –35 °С. Лето короткое, прохладное, средняя температура не выше 10...12 °С. Снег и заморозки могут быть в течение всего лета.

*Зона климата тайги* занимает большую часть России от Карелии до Камчатки. В европейской части России зима умеренно холодная (средняя температура января –7...–15 °С), но по мере продвижения на восток суровость зимы усиливается. В Восточной Сибири зима морозная, малоснежная, средняя температура января –25...–38 °С, минимальная температура зимой опускается до –40...–45 °С в восточных районах, до –50...–60 °С в северных. Абсолютный минимум, отмеченный в районе Верхоянска–Оймякона, достигал –71 °С. Весна в сибирской тайге наступает позже, чем в европейской, заморозки в

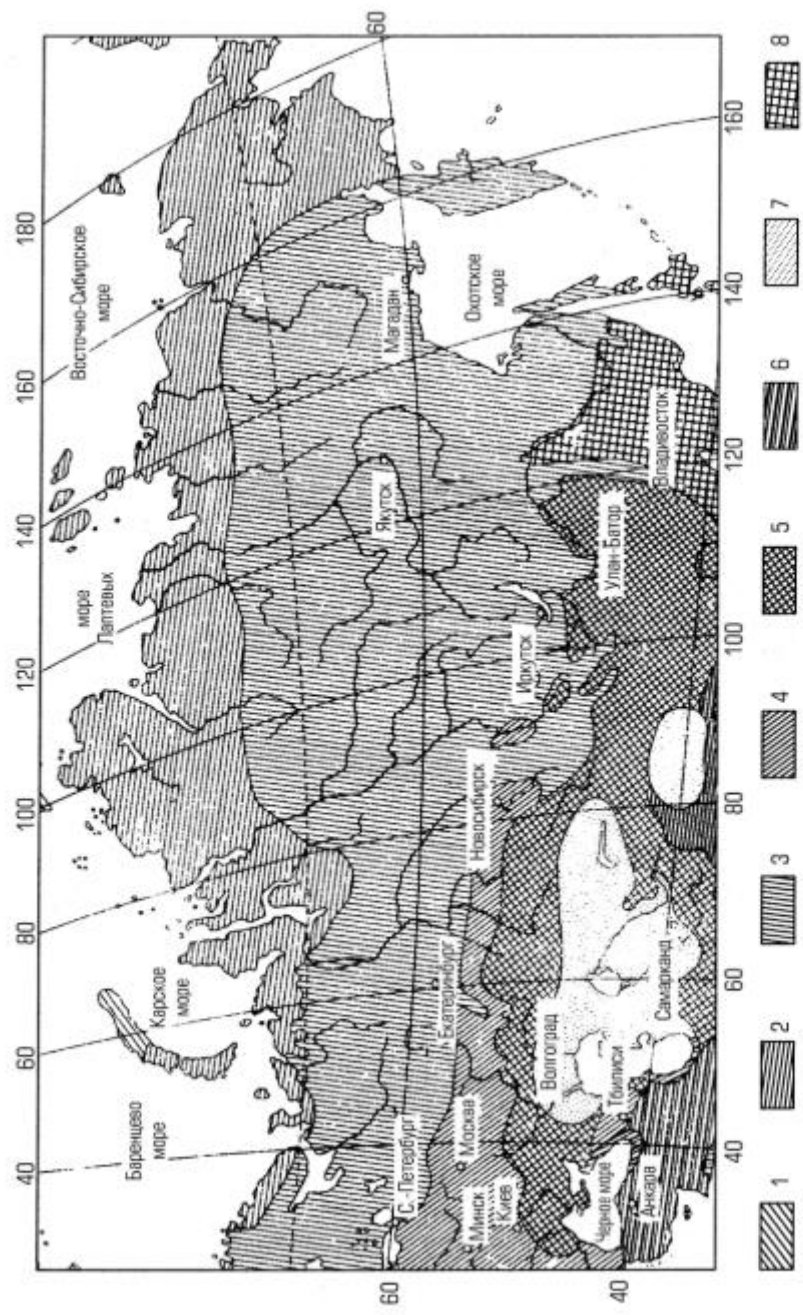


Рис. 10.4. Ландшафтно-климатические зоны России и соседних государств (по Л.С. Бергу).

Климаты: 1 — вечного мороза; 2 — тундры; 3 — тайги; 4 — лесов умеренного пояса; 5 — степей; 6 — средиземноморские; 7 — пустынь антропогенных; 8 — муссонного типа умеренных широт

Восточной Сибири наблюдаются даже летом, но средняя температура воздуха летом в Сибири выше, чем на этих же широтах в европейской части. Средняя температура июля — 14...18 °С. Осень в западных районах продолжительная, в восточных — короткая, с быстрым наступлением холодов. Годовая сумма осадков уменьшается от 600 мм на западе до 350 мм на востоке.

*Зона климата лиственных лесов* простирается от западных границ России до р. Обь в районе Новосибирска. Эта зона в Сибири ограничена с севера и востока низкими температурами зимы, с юга — сухим жарким летом. Зима в западных районах этой зоны мягкая, с частыми оттепелями, пасмурная, на востоке более суровая, по зоне средняя температура января колеблется от -4 до -18 °С. Лето более теплое, на востоке средняя температура июля увеличивается от 17 до 20 °С. Рост амплитуды годового хода температуры воздуха (в Москве — 28 °С, в Новосибирске — 38 °С) характеризует увеличение континентальности климата с запада на восток. В этом же направлении происходит уменьшение годовой суммы осадков от 600 до 400 мм.

*Муссонный климат умеренных широт* отмечается на Дальнем Востоке (Приамурье, Приморье, Камчатка, Сахалин). В целом муссонный климат дальневосточной области характеризуется холодной, сухой и солнечной зимой, прохладным и влажным летом, частыми туманами и прохождением тайфунов. Средняя температура января изменяется от -25 °С на севере до -10 °С на юге, июля — соответственно от 10 до 20 °С. Годовая сумма осадков колеблется от 200 мм, на севере — до 800 мм, на юге (на Камчатке) — до 1000 мм.

Дальневосточная область получает меньше тепла, чем следовало бы по ее географическому положению. Причины этого заключаются, во-первых, в сравнительно холодных восточных морях и холодном Курильском течении, отнимающих летом много тепла, во-вторых, во влиянии огромного азиатского материка с его суровыми зимами, в-третьих, в действии летнего муссона, приносящего морской воздух и обуславливающего большую облачность.

*Зона климата степей* охватывает Нижнее и Среднее Поволжье, Северный Кавказ, Южный Урал, южные районы Западной и Восточной Сибири. Зима здесь малоснежная, в восточных районах суровая: средняя суточная температура января понижается от -10 °С на западе до -25 °С на востоке. Средняя температура июля — 20...25 °С. В этой зоне годовая сумма осадков (450...250 мм) меньше годовой суммы испаряемости, поэтому здесь часто наблюдаются засухи и суховеи, нередко бывают пыльные бури.

*Субтропический средиземноморский климат* наблюдается на Черноморском побережье Краснодарского края. Для него характерны влажная теплая зима (0...5 °С) и засушливое теплое лето (22...24 °С). Годовая сумма осадков составляет 600...1300 мм.

## 10.8. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

*Изменение климата* — многолетняя или многовековая направленная смена одного метеорологического комплекса другим в сторону постепенного похолодания или потепления, иссушения или увлажнения

Нет никакого сомнения, что на протяжении истории Земли вместе со своей земной природой менялся и климат. Геологические данные показывают, что изменения климата в прошлом Земли были очень глубокими и охватывали сотни миллионов лет.

На протяжении этого времени коренным образом менялось положение на Земле: расположение суши и моря, орография, состав атмосферы и пр. С другой стороны, могли меняться и космические влияния на Землю.

Обнаружение обширных и мощных толщ морских известняков и ископаемых коралловых рифов в средних широтах, например в Центральной Европе, говорит о более теплом климате, существовавшем в этих районах в разные эпохи жизни Земли. В пластах бурых углей в Европе обнаруживаются остатки таких теплолюбивых растений, как веерные пальмы. Образование каменного угля происходило некогда и в Арктике, и в Антарктике. Богатство ископаемых видов пресмыкающихся и их огромные размеры также являются подтверждением теплых климатов.

Один из признаков холодных периодов — слабое химическое выветривание и преобладание физического выветривания с обилием обломочного материала в отложениях. Особенно важными показателями похолоданий являются характерные отложения и формы ландшафта, связанные с оледенениями (моренные отложения, ископаемые льды), а также соответствующая флора и фауна. В частности, моренные отложения, встречающиеся в Индии, свидетельствуют о том, что ледники из Арктики спускались до этих широт.

Важнейшее доказательство аридных (сухих) периодов — усиленное отложение солей (особенно если климат также и жаркий). Пояса месторождений ископаемых солей на Земле тоже меняли свое положение на протяжении геологических эпох. Сухие периоды определяются еще и по остаткам ксероморфной растительности и степных животных.

Об изменении климата, в частности, за историческую эпоху (когда появился человек) свидетельствуют и данные археологии и летописей, а также новейшие геологические напластования, болотные отложения, годовые кольца деревьев. Установлено, что в начале нашей эры климат Европы был близок к современному. С IV в. началось потепление, продолжавшееся до XIII в. Это климатический оптимум исторического времени. С XIII в. климат стал ухудшаться, о похолодании можно судить по такому факту: Черное море не раз

замерзало и из Крыма в Турцию устанавливался санный путь. В XVII в. произошло небольшое потепление, однако до середины XIX в. температуры оставались низкими. У А.С. Пушкина описан «бег санок по Неве широкой», что невозможно при ледовом покрове нынешних зим.

С середины XIX в., по мнению большинства ученых, началось потепление с небольшими спадами, продолжающееся и в XXI в. Но до сих пор ученые не могут с полной уверенностью сказать, что вызывает такие кардинальные глобальные климатические изменения на нашей планете. Есть лишь множество гипотез, основные из которых следующие:

- изменение солнечной активности, которая, как известно, имеет несколько циклов — 11-летние, 20-летние и т.д. И вполне вероятно, что наблюдаемое глобальное потепление связано с очередным ростом солнечной активности, которая в будущем может снова пойти на убыль;
- изменение угла вращения Земли и ее орбиты, что вызывает изменение радиационного баланса планеты;
- пока еще не изученные связи и взаимодействия между Солнцем, Землей и другими планетами. Не исключено, что они оказывают значительное влияние на процессы, происходящие в атмосфере и гидросфере Земли;
- Мировой океан — огромный инерционный аккумулятор солнечной энергии. Он во многом определяет направление и скорость циркуляции водных и воздушных масс на нашей планете. Примером тому могут служить такие периодически возникающие явления, как Эль-Ниньо и Ла-Нинья — длительные океанические поверхностные температурные аномалии. Они связаны с формированием больших участков теплой воды в экваториальной части Тихого океана, а также подъемом глубинных, холодных вод у западного побережья Южной Америки. Эти явления резко изменяют тепло- и влагообменные процессы атмосферы и океана (одного из важнейших погодообразующих факторов), что вызывает хаос в мировой погоде: сильнейшие дожди в Южной Америке, Европе и Индии, жестокие засухи (сахель) в Африке и Австралии;
- вулканическая деятельность. За счет вулканов происходит развитие всех трех оболочек Земли: литосферы, гидросферы и атмосферы. Установлено, что за счет вулканизма объем пород литосферы ежегодно увеличивается более чем на  $5...10 \text{ км}^3$ , а в атмосферу в среднем поступает  $50...100$  млн т пепла и газов, часть которых расходуется и на преобразование гидросферы. В атмосфере пепел может находиться длительное время, а воздушными течениями переноситься на большие расстояния. Напри-

мер, при извержении печально известного вулкана Кракатау (Индонезия, 1883 г.) пепел (свыше  $18 \text{ км}^3$ ) поднимался на высоту до 5 км и находился в атмосфере несколько лет. Уменьшение прозрачности атмосферы повлекло за собой временное похолодание на Земле (был год «без лета»);

- антропогенные факторы, т.е. хозяйственная деятельность человека. Влияние на климат оказывают такие глобальные процессы, как:
- уничтожение лесов, особенно тропических, вызывающее сокращение воспроизводства кислорода, повышение альбедо, изменяющее водный режим почв и рек;
- разрушение естественных луговых и степных фитоценозов (распашка крупных массивов целинных земель), приводящее к изменению альбедо, быстрой потере влаги, подъему пыли в атмосферу;
- опустынивание за счет перевыпаса скота, вырубки древесно-кустарниковых форм на топливо;
- создание техногенных ландшафтов, вызывающих изменение альбедо, сокращение биоразнообразия и биологического потенциала Земли;
- сжигание органического ископаемого топлива, увеличивающего поступление в атмосферу  $\text{CO}_2$  и других газов, пыли;
- выбросы в атмосферу промышленных отходов, меняющих состав атмосферы, увеличивающих содержание радиационно-активных газов, аэрозолей и т.п.

Все это в итоге влияет на энерго- и массообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой и на циркуляцию атмосферы.

Необходимо отметить, что есть и другая точка зрения на антропогенное влияние, а именно: антропогенной деятельностью обусловлено лишь 10...15% изменений климата, все остальное — естественные факторы. Никто из ученых не спорит с тем, что сейчас глобальный климат действительно теплеет. Но подобные (и даже более глубокие) изменения происходили в нем и раньше, когда деятельность человека никак не могла на них повлиять (правда, они никогда не были такими быстрыми). Не отрицаются и данные, согласно которым всякое глобальное потепление сопровождается увеличением концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Однако ряд российских ученых считает, что перепутаны причина и следствие. Известно, что растворимость диоксида углерода (как и большинства газов) в воде уменьшается с понижением температуры. Следовательно, всякое потепление должно заставлять Мировой океан (в котором, по некоторым оценкам, общее количество  $\text{CO}_2$  почти в 60 раз превышает его количество в атмосфере) выпускать в воздух столько  $\text{CO}_2$ , что все антропогенные выбросы оказываются в пределах ошибки измерения. К тому же глобальное потепление сопровождается оттаиванием многолетне-мерз-



лых пород, что делает доступной для разложения (с образованием  $\text{CO}_2$  и метана) содержащуюся в оттаивающих почвах органику.

Аналогичные соображения (из-за потепления увеличивается количество  $\text{CO}_2$ , а не наоборот) высказывают и некоторые западные ученые. По их расчетам около 95% диоксида углерода имеет естественное происхождение, так что искусственные выбросы можно практически не принимать во внимание. Таким образом,  $\text{CO}_2$  является индикатором, а не причиной потепления.

Впрочем, не исключено, что верны оба воззрения — рост концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$  является как следствием, так и причиной глобального потепления, т.е. эти два процесса работают по принципу положительной обратной связи, ускоряя друг друга.

При этом ученые констатируют, что наши знания о глобальных биохимических циклах, определяющих содержание парниковых газов в атмосфере, к которым также относятся метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), фторхлоруглероды (фреоны), водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и особенно капельки воды, еще не достаточны.

В любом случае, по какому бы сценарию ни развивалась ситуация, глобальное изменение климата определенным образом будет влиять и на сельскохозяйственное производство. Поэтому этой проблемой занимаются ученые многих стран, проходят международные конференции, организуемые Всемирной метеорологической организацией. Климат «ничей», он общемировое достояние, условие нормальной жизни всех людей Земли.

## **10.9. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА АГРАРНЫЙ СЕКТОР РОССИИ**

Происходящее изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI в., которая выходит за рамки чисто научной и представляет собой междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты государств. Проводимые учеными различных стран мира с помощью климатических моделей исследования позволяют строить прогнозы изменений климата на различный срок (вплоть до конца XXI в.). При этом рассматриваются разные сценарии природных и антропогенных воздействий на климатическую систему и оцениваются в качестве предполагаемой реакции на эти воздействия изменения в ней.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата предлагает около 40 равновероятных сценариев событий. Вот некоторые из них:

- глобальное потепление будет происходить постепенно, так как наша планета — очень большая и сложная система. Здесь есть

подвижная атмосфера, движение воздушных масс которой распределяет тепловую энергию по широтам. На Земле есть огромный аккумулятор тепла и газов — Мировой океан, накапливающий тепла в 1000 раз больше, чем атмосфера. Поэтому изменения в такой системе не могут происходить быстро;

- глобальное потепление в некоторых частях Земли сменится кратковременным похолоданием. Известно, что одним из факторов возникновения океанических течений является градиент температуры воды между высокими и низкими широтами. Таяние полярных льдов способствует повышению температуры арктических вод, а значит, происходит изменение температурной разницы между тропическими и арктическими водами, что неминуемо должно в будущем привести к замедлению течений, в том числе и Гольфстрима;
- глобальное потепление сменится глобальным похолоданием. Остановка Гольфстрима и других теплых океанических течений вызовет глобальное похолодание на Земле и наступление очередного ледникового периода;
- глобальное потепление будет происходить относительно быстро. Это самый популярный в настоящее время сценарий. По разным оценкам за последние 100 лет средняя температура на нашей планете увеличилась на 0,5...1,0 °С, концентрация CO<sub>2</sub> возросла на 20...25%, а метана — на 100%. В будущем эти процессы получат дальнейшее развитие, и к концу XXI в. средняя температура поверхности Земли может увеличиться на 3,5...5,5 °С. Дальнейшее таяние арктических и антарктических льдов может ускорить процесс потепления из-за изменения альбедо планеты.

Глобальное потепление будет сопровождаться подъемом уровня Мирового океана. С 1995 по 2005 г. уровень Мирового океана уже поднялся на 4 см. Если темпы подъема уровня воды сохранятся, то к концу XXI в. суммарный подъем уровня Мирового океана составит 30...50 см, что вызовет частичное затопление многих прибрежных территорий.

Кроме повышения уровня Мирового океана потепление повлияет на силу ветров и распределение осадков на Земле. В результате на планете вырастут частота и масштабы различных катаклизмов (ураганы, засухи, наводнения).

По расчетам ученых увеличение средней годовой температуры будет сильнее ощущаться над материками, чем над океанами, что в будущем вызовет серьезную перестройку природных зон материков. Уже сейчас, например, отмечается отступление в Арктические широты зоны вечной мерзлоты. А это вызывает смену ареалов обитания живых организмов. Так, ареал бурого медведя в Северной Америке

продвинулся на север до такой степени, что стали появляться гибриды белых и бурых медведей, а в южной части своего местообитания медведи перестали впадать в спячку.

Что ожидает Россию в будущем? По расчетам ведущих специалистов Росгидромета и Российской академии наук к середине XXI в. особенно значительное увеличение температуры воздуха — на 2...4 °С в зимний период произойдет в северных широтах, в летний — на юге. Количество осадков по прогнозам в высоких широтах возрастет на 20...30% (главным образом твердых), а в южных уменьшится на 10...15%.

Для сельского хозяйства предполагаемые изменения метеословий будут иметь как положительные, так и отрицательные последствия.

Среди *положительных последствий* влияния ожидаемых изменений климата на растениеводство это:

- увеличение площади земель, пригодных для земледелия (примерно в 1,5 раза);
- улучшение условий перезимовки полевых и садовых культур;
- увеличение продолжительности вегетационного периода и сумм активных температур.

В результате, как показали расчеты по одному из сценариев эволюции климата, биоклиматический потенциал — суммарный показатель тепловых и водных ресурсов (подробнее см. гл. 13) будет увеличиваться до 2040 г. на большей части земледельческой зоны России, затем ожидается его снижение (табл. 10.1).

Таблица 10.1

**Динамика биоклиматического потенциала территории России,  
% от современного уровня**

Регион	Годы			
	2020	2030	2040	2050
Центральный	10,1	11,9	13,5	9,6
Северо-Западный	18,5	24,9	31,8	38,8
Южный	-5,0	-2,4	-7,6	-16,6
Приволжский	5,6	7,4	5,2	0,5
Уральский	12,8	15,7	15,9	9,7
Россия	7,2	9,9	9,4	5,4

Это в свою очередь позволит, например, на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье выращивать хлопок-сырец, виноград, чай и другие субтропические культуры. Кроме того, рост температуры и

содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере приведет к увеличению продуктивности зерновых и особенно кормовых культур.

Но для того чтобы использовать благоприятные изменения климата, необходимо:

- расширение посевов более позднеспелых сортов зерновых колосовых культур, кукурузы, подсолнечника, картофеля, рапса;
- рост свеклосеяния, повышение доли более теплолюбивых видов кормовых культур — сои, люцерны и др.;
- увеличение применения таких удобрений и средств химизации, которые наиболее эффективны в условиях теплого и влажного климата.

*Отрицательные последствия* для аграрного сектора связаны с сопровождающим это потепление увеличением засушливости климата. И при сохранении существующих технологий сельскохозяйственного производства на большей части территории России будет наблюдаться отрицательная динамика урожайности.

Кроме того, следует ожидать:

- возрастания почвенной эрозии;
- увеличения поражаемости растений вредителями и болезнями;
- уменьшения эффективности действия пестицидов.

Поэтому в зоне недостаточного увлажнения адаптационные меры должны быть направлены в том числе и на экономное расходование водных ресурсов путем:

- более широкого внедрения влагосберегающих технологий;
- расширения посевов более засухоустойчивых культур, прежде всего кукурузы, подсолнечника, проса;
- увеличения посевов озимых культур — пшеницы в степных районах Поволжья и Урала, ячменя на Северном Кавказе;
- расширения орошаемого земледелия.

В сумме баланс положительных и отрицательных последствий изменения климата в целом для сельского хозяйства ученые оценивают как положительный.

Кроме того, по их мнению, преимуществом России по сравнению с другими странами является ее высокий адаптационный потенциал, который обеспечивают большие размеры территории, наличие значительных водных ресурсов и относительно небольшая доля населения, проживающего на территориях, особо уязвимых к изменению климата.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что понимают под погодой и с чем связаны ее изменения?
2. Что такое воздушные массы? Назовите основные типы воздушных масс.
3. Что такое атмосферные фронты и какая погода отмечается при их прохождении?
4. Какую погоду приносят циклоны летом (зимой) и почему?
5. Какую погоду определяет антициклон летом (зимой) и почему?
6. Назовите местные признаки погоды.
7. Что такое климат и под влиянием каких главных факторов происходит его формирование?
8. Расскажите о типах климатов (по Бергу) на территории России.
9. Назовите (перечислите) гипотезы возможных причин климатических изменений на Земле.
10. Какие изменения климата происходят под влиянием антропогенных факторов?
11. Какие возможны последствия изменения климата для сельского хозяйства России?

### 11.1. МЕТОДИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛИМАТА

Климат определяет географическое распространение и успешность возделывания всех сельскохозяйственных культур открытого грунта. Чтобы эффективно использовать потенциальные возможности, а также уменьшать ущерб от неблагоприятных для сельскохозяйственного производства погодных явлений, вредителей и болезней сельскохозяйственных культур, необходимо изучение климата.

Для этих целей устанавливаются количественные показатели влияния факторов климата на объекты и процессы сельскохозяйственного производства.

Основы методики агроклиматической оценки территории начали разрабатывать в начале XIX в. А.И. Воейков и П.И. Броунов. Их идеи получили развитие в исследованиях Г.Т. Селянинова, П.И. Колоскова, Ф.Ф. Давитая, Л.Н. Бабушкина, И.А. Гольцберг, С.А. Сапожниковой, А.И. Руденко, Ю.И. Чиркова, Д.И. Шашко, А.М. Шульгина, А.Р. Константинова, А.П. Федосеева и других ученых. За рубежом в этом направлении работали Б. Ливингстон, Дж. Ащи, Е. Никольс и др. В основу методики сельскохозяйственной оценки климата положены законы биологических наук (см. введение).

Продуктивность растений в основном определяется количеством тепла и влаги, поскольку газовый состав воздуха одинаков во всех климатических зонах, а световой режим в условиях оптимальной густоты стояния растений обычно не лимитирует их рост и развитие. Поэтому изучение климата для сельскохозяйственных целей складывается главным образом из оценки:

- термических и частично световых ресурсов вегетационного периода и его отдельных частей;
- ресурсов увлажнения вегетационного периода и его отдельных частей;
- условий перезимовки растений;
- микроклимата;
- неблагоприятных (опасных) для сельскохозяйственного производства гидрометеорологических явлений.

Наряду с этим при сельскохозяйственной оценке климата необходимо знать требования биологических объектов, а именно: их кри-

тические и оптимальные температуры, суммы температур, необходимых для роста и развития, количество влаги, обеспечивающее создание высокого урожая, и др.

Сопоставление агроклиматических ресурсов и требований биологических объектов позволяет определить степень соответствия между ними.

Знание ресурсов необходимо и при разработке комплекса агротехнических мероприятий, воздействующих на режим света, тепла, влаги с целью их оптимизации.

При сельскохозяйственной оценке климата учитываются не только средние многолетние значения (нормы), но и повторяемость и обеспеченность основных факторов климата и опасных для сельского хозяйства гидрометеорологических явлений.

## 11.2. ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ РЕСУРСОВ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Под *термическими ресурсами* в климатологии понимают количество тепла, которым располагает территория, где произрастают сельскохозяйственные культуры. Термические ресурсы вегетационного периода чаще всего оценивают предложенной Г.Т. Селяниновым суммой активных температур воздуха выше 10 °С (иногда выше 5 °С или других пределов).

Потребность растений в тепле выражается *биологической суммой температур*, под которой понимают сумму средних суточных температур воздуха за период вегетации культуры от начала роста до созревания в пределах границ ее ареала.

Биологические суммы температур для некоторых наиболее распространенных сельскохозяйственных культур, рассчитанные для 55° с.ш., приведены в табл. 11.1. С изменением широты потребность культур в тепле изменяется в среднем на 10...30 °С на 1° широты.

При использовании данных этой таблицы для растений, возделываемых на других (кроме 55° с.ш.) широтах, вводят соответствующую поправку. Для растений длинного дня поправка имеет отрицательный знак. С продвижением данного растения к северу от 55° с.ш. его биологическую сумму температур необходимо уменьшить на соответствующее значение с учетом разности широт. Например, для яровой пшеницы (раннеспелой) биологическая сумма температур для 55° с.ш. равна 1400 °С. Поправка на 1° широты составляет –20 °С. Следовательно, для 59° с.ш. биологическая сумма будет на 80 °С меньше, т.е. 1320 °С. Если это растение произрастает южнее 55° с.ш., то знак поправки следует изменить на противоположный.

Таблица 11.1

**Потребность сельскохозяйственных культур в тепле для достижения технической спелости ( $\varphi = 55^\circ$  с.ш.)**

Культура	Температура, $^\circ\text{C}$		Биологическая сумма температур, $^\circ\text{C}$	Поправка на $1^\circ$ широты, $^\circ\text{C}$
	начала роста	созревания		
Яровая пшеница (мягкая)	5	10	1400...1700	-20
Овес	5	10	1250...1550	-20
Ячмень	5	10	1250...1450	-15
Озимая рожь	5	10	1300...1400	-30
Горох	5	10	1250...1550	-8
Подсолнечник	8	10	1850...2300	0
Кукуруза	10	10	2200...2900	0
Гречиха	7	10	1200...1400	0
Фасоль	12	12	1500...1900	0
Картофель	10	—	1000...2000	0
Сорго	12	12	2400...2900	10
Просо	10	10	1570...1875	15
Соя (наиболее ранняя)	10	10	2140...3060	10

*Примечание.* Меньшее значение биологической суммы соответствует потребности в тепле ранних сортов, большее — поздних.

Для растений короткого дня поправка имеет положительный знак. С продвижением данной культуры к северу от  $55^\circ$  с.ш. биологическая сумма должна быть увеличена на определенное число в соответствии с разностью широт. Так как культуры короткого дня с продвижением к югу ускоряют свое развитие, их биологическую сумму в таких случаях следует уменьшить. Для растений, нейтральных к длине дня, поправка на широту равна  $0^\circ$ .

Для территории Восточной Сибири вводят еще поправку на континентальность климата, которая в среднем равна  $-100^\circ\text{C}$ .

Поскольку ресурсы тепла определяются климатическими суммами активных температур выше  $10^\circ\text{C}$ , а потребность в тепле выражается биологическими суммами, отсчитанными от разного биологического минимума, необходим переход от одних сумм к другим.

Такой переход (приведение) выполняют, вводя так называемую *климатическую поправку* (рис. 11.1).

В первом случае климатическая поправка равна  $0^\circ\text{C}$ , так как температура начала роста (биологический ноль) и созревания равна  $10^\circ\text{C}$ , и, следовательно, биологическая сумма совпадает с климатической суммой активных температур (см. рис. 11.1, а).



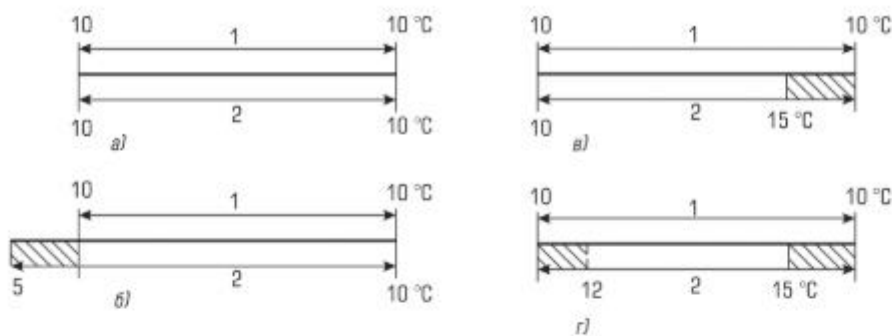


Рис. 11.1. Возможные варианты при определении климатической поправки к суммам биологических температур:

1 — климатическая сумма; 2 — биологическая сумма

Во втором случае биологическая сумма больше климатической (см. рис. 11.1, б). Это увеличение обусловлено тем, что температура начала роста составляет  $5^{\circ}\text{C}$ , и, следовательно, для приведения необходимо сумму температур, накопившуюся весной за период между датами перехода средней суточной температуры через  $5$  и  $10^{\circ}\text{C}$ , вычесть из биологической суммы. Для этого достаточно среднюю суточную температуру за этот период умножить на число дней периода, определив таким образом климатическую поправку.

В третьем случае (см. рис. 11.1, в) биологическая сумма меньше климатической за счет того, что созревание культуры наступает при температуре  $15^{\circ}\text{C}$ . Поэтому необходимо определить число дней за период от даты перехода температуры через  $15^{\circ}\text{C}$  до даты перехода через  $10^{\circ}\text{C}$  осенью и среднюю суточную температуру этого периода. Произведение этих двух значений даст искомую климатическую поправку, которую необходимо прибавить к биологической сумме.

Четвертый случай (см. рис. 11.1, г) подобен третьему, с той лишь разницей, что климатических поправок здесь две (на весну и осень) и обе имеют положительный знак.

Сопоставляя климатическую сумму активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  и биологические суммы температур, уточненные поправкой на широту и на биологический минимум температуры, можно определить обеспеченность растений теплом.

Однако в отдельные годы сумма активных температур может на несколько сотен градусов отличаться от многолетней (чем неустойчивее климат, тем больше). Для успешного возделывания сельскохозяйственных культур в конкретном районе необходимо знать, насколько они обеспечены здесь необходимым теплом, т.е. как часто они будут созревать. Это легко сделать с помощью кривых обеспе-

ченности термических ресурсов, полученных Ф.Ф. Давитая (рис. 11.2). Например, потребность в тепле позднеспелых сортов яровой пшеницы с учетом всех поправок составляет  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а ресурсы —  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как часто эта культура будет созревать в данном районе? Чтобы ответить на поставленный вопрос, следует найти разность между потребностью и ресурсами:  $1600 - 1700 = -100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Затем с помощью графика определить, как часто в данном районе сумма активных температур бывает меньше многолетней на  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для этого необходимо найти на оси абсцисс значение  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , из найденной точки восстановить перпендикуляр до пересечения с кривой, а затем из этой точки опустить перпендикуляр на ось ординат и получить обеспеченность. В данном примере это будет 65% (кривая 1), т.е. яровая пшеница будет созревать примерно 7 лет из 10. Возделывание культуры считается рентабельным, если она обеспечена теплом не менее чем на 80%, т.е. 8 раз в 10 лет.

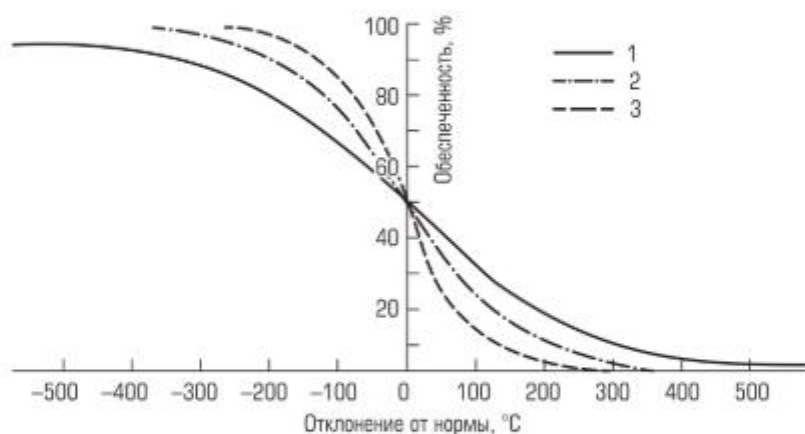


Рис. 11.2. Кривые обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  для различных типов климата:  
 1 — неустойчивого (европейская часть России, Западная Сибирь); 2 — устойчивого (центральная часть Сибири); 3 — особо устойчивого (Восточная Сибирь, Дальний Восток)

Следует отметить, что сумма температур, подсчитанная в целом за вегетационный период, не дает представления о динамике ее накопления 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. 11.3), при помощи которой можно определить накопление той или иной суммы температур на определенную дату. По оси абсцисс отложены дни вегетационного периода и возможные суммы температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , по оси ординат — средние многолетние суммы

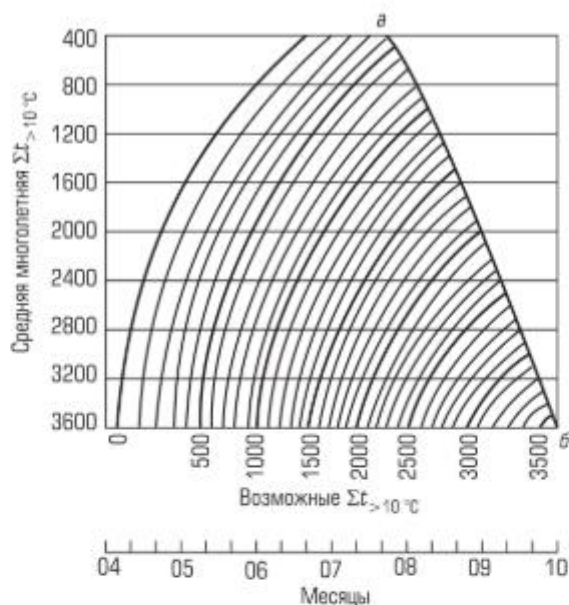


Рис. 11.3. Номограмма для определения сроков накопления сумм температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зависимости от средних многолетних сумм (по Ф.Ф. Давитая)

температур за вегетационный период. На номограмме первая кривая, соответствующая сумме температур  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , указывает на начало периода с температурой выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а замыкающая кривая (а–б) — на конец этого периода.

Например, для наступления восковой спелости позднеспелого сорта проса требуется сумма активных температур  $1900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В Тамбовской области средняя многолетняя сумма температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $2400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для определения даты созревания проса на оси ординат находим среднюю многолетнюю сумму  $2400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , от которой проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой суммы температур  $1900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось абсцисс и определяем дату наступления фазы восковой спелости проса — 20.08.

Термические ресурсы территории оценивают также суммами эффективных и положительных температур по продолжительности периодов с устойчивым превышением температуры воздуха выше  $5$ ,  $10$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , по средней температуре самого теплого месяца, по продолжительности беззаморозкового периода.

Световые ресурсы вегетационного периода обычно оценивают по суммам ФАР. При оценке действия лучистой энергии на растения учитывают также продолжительность освещения и спектральный состав солнечного света (см. разд. 2.5).

### 11.3. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Для оценки условий увлажнения территории используют среднюю многолетнюю сумму осадков и распределение их во времени.

Среднее многолетнее количество осадков дает представление о 50%-й обеспеченности территории осадками. В действительности их может выпадать больше или меньше этого количества. Поэтому для правильного суждения об увлажнении необходимо знание суммы осадков различной обеспеченности. Для этого можно воспользоваться, например, номограммой А.Н. Лебедева (рис. 11.4).

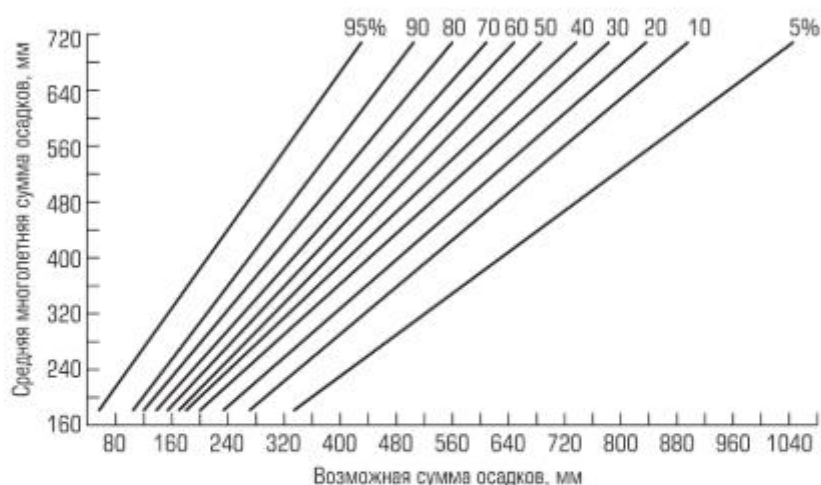


Рис. 11.4. График для расчета годовых сумм осадков различной обеспеченности (по А.Н. Лебедеву)

На графике по оси ординат нанесены средние многолетние годовые суммы осадков, по оси абсцисс — возможные суммы осадков в отдельные годы, в поле графика — линии различной обеспеченности. Существуют и другие номограммы, по которым можно рассчитывать обеспеченность различных сумм осадков для любого периода (месяц, сезон), если известна их средняя многолетняя сумма за этот период. Работают с подобными номограммами следующим образом. Например, сколько осадков выпадает 8 лет из 10 при средней многолетней сумме 600 мм? На оси ординат находят значение 600 мм, из этой точки проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией 80% и опускают перпендикуляр на ось абсцисс — получают 440 мм и более.

При агроклиматическом обслуживании часто используют данные о сумме осадков нарастающим итогом за холодный (01.11...31.03)

и теплый (01.04...31.10) периоды. Графически это представляется в виде интегральных кривых (рис. 11.5). В этом случае можно определить даты, на которые накопится сумма осадков, например, равная 100, 150 мм и т.д.

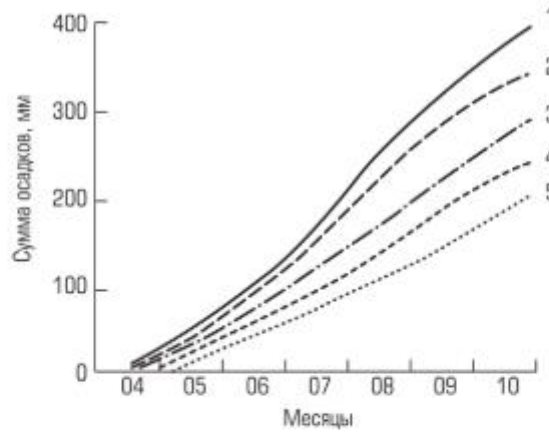


Рис. 11.5. Суммы осадков нарастающим итогом за теплый период по метеостанциям Центрально-Черноземного района:  
1 — Мичуринск; 2 — Белозерск; 3 — Нижняя Пеша; 4 — Оксино; 5 — Шойна

Однако оценка условий увлажнения территории по количеству выпадающих осадков не совсем корректна, так как осадки являются лишь одной из составляющих приходной части водного баланса.

Этим, в частности, объясняется тот факт, что при одинаковой сумме осадков в различных районах увлажнение бывает разное. Например, на севере России (зона тундры) и на юге (степная зона) осадков выпадает около 350 мм в год, но на севере наблюдается избыток влаги, а на юге — недостаток ее, что обусловлено различной испаряемостью в этих зонах. Поэтому в агрометеорологии для оценки условий увлажнения территории используют косвенные показатели (коэффициенты), представляющие собой отношение прихода влаги (осадков) к ее максимально возможному расходу (испаряемости). Наибольшее распространение получили *гидротермический коэффициент* (ГТК) *Селянинова* и *коэффициент увлажнения* (КУ) *Шашко*, на основе которых выделены зоны различного увлажнения:

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0,1 \cdot \Sigma t_{>10^{\circ}\text{C}}}, \quad (11.1)$$

где  $r$  — сумма осадков за период активной вегетации, мм;  $\Sigma t_{>10^{\circ}\text{C}}$  — сумма активных температур за тот же период,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$$KY = \frac{r}{\Sigma d}, \quad (11.2)$$

где  $r$  — годовая сумма осадков, мм;  $\Sigma d$  — годовая сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, гПа.

Знаменатели в этих формулах численно равны испаряемости, измеряемой также в миллиметрах.

Значения ГТК = 1 и КУ = 0,45 указывают на равенство осадков и испаряемости. Оценка условий увлажнения по средним многолетним значениям ГТК и КУ, а также вероятность различно увлажненных лет в каждой зоне представлены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

**Оценка условий увлажнения по значениям ГТК и КУ и вероятность различно увлажненных лет**

Зона увлажнения	Средний многолетний		Вероятность различно увлажненных лет, %					
	ГТК	КУ	сухих	очень засушливых	засушливых	слабо засушливых	влажных	избыточно влажных
Избыточно влажная	> 1,6	> 0,60	0	0	5	10	25	60
Влажная	1,6...1,3	0,60...0,45	0	5	10	25	30	30
Слабо засушливая	1,3...1,0	0,45...0,35	0	15	25	30	20	10
Засушливая	1,0...0,7	0,35...0,25	10	25	35	20	5	5
Очень засушливая	0,7...0,4	0,25...0,15	35	45	15	5	0	0
Сухая	< 0,4	0,15...0,10	75	20	5	0	0	0

Для оценки условий увлажнения применяют и другие коэффициенты и показатели, предложенные Н.В. Бова, М.И. Будыко, П.И. Колосковым, Н.Н. Ивановым и др. Необходимо отметить, что каждый из них имеет определенные недостатки. В частности, один из недостатков ГТК — неучет весенних запасов влаги в почве. В результате при одинаковом значении ГТК условия влагообеспеченности растений могут существенно различаться. Показатель увлажнения Шашко нуждается во введении поправок на годовой ход осадков, так как зимние и летние осадки неравнозначны для растений. Кроме того, подобные коэффициенты характеризуют увлажнение территории безотносительно к конкретным культурам.

В последние годы исследования агрометеорологов направлены на получение оценок влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в различных зонах. Так, для кукурузы в степной зоне Ю.И. Чирков предложил формулу

$$K_{\text{ч}} = \frac{0,5r_{10...03} + r_{04...08}}{0,18\Sigma t_{04...08}}, \quad (11.3)$$

где  $r_{10...03}$  и  $r_{04...08}$  — сумма осадков соответственно за октябрь—март и апрель—август, мм;  $\Sigma t_{04...08}$  — сумма среднесуточных температур воздуха за апрель—август, °С.

Для оценки влагообеспеченности сахарной свеклы, подсолнечника Л.С. Кельчевская и Ю.С. Мельник разработали следующую формулу:

$$K_{\text{к}} = \frac{0,36r_1 + r_2}{0,1\Sigma t_{>10^{\circ}\text{C}}}, \quad (11.4)$$

где  $r_1$  — сумма осадков вневегетационного периода, мм;  $r_2$  — сумма осадков за период вегетации данной культуры, мм;  $\Sigma t_{>10^{\circ}\text{C}}$  — сумма среднесуточных температур за период активной вегетации, °С.

Оценить влагообеспеченность культуры можно, сравнив ее фактическое водопотребление  $E_{\text{ф}}$  с оптимальным  $E_{\text{опт}}$ , т.е. потребностью культуры во влаге:

$$K = \frac{E_{\text{ф}}}{E_{\text{опт}}} \cdot 100\%. \quad (11.5)$$

Фактическое водопотребление, т.е. фактическое суммарное испарение при отсутствии данных наблюдений по испарителям, обычно оценивают по сокращенному уравнению водного баланса (см. разд. 8.6).

Для расчета потребности растений во влаге наиболее часто используют биоклиматический метод А.М. Алпатьева. Согласно этому методу потребность растений во влаге оценивают по испаряемости:

$$E_{\text{опт}} = K_{\text{б}}\Sigma d, \quad (11.6)$$

где  $K_{\text{б}}$  — биологический коэффициент испарения;  $\Sigma d$  — сумма дефицитов насыщения водяного пара, гПа.

Оценить влагообеспеченность можно и в абсолютных единицах, мм:

$$\Delta E = E_{\text{опт}} - E_{\text{ф}}. \quad (11.7)$$

При этом более объективная картина влагообеспеченности культуры получается, если оценку проводить не в целом за период вегетации, а с учетом закона критических периодов. Например, у зерновых, как известно, это межфазный период кущение — выход в трубку, у корнеплодов — линька корня — пожелтение нижних листьев и т.д.

В практике сельского хозяйства при расчете некоторых показателей влагообеспеченности учитывают также и запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см. А.М. Алпатьев предложил коэффициент влагообеспеченности определять по эмпирической формуле

$$K_a = \frac{W_1 - W_2 + r}{0,65\Sigma d}, \quad (11.8)$$

где  $W_1$  и  $W_2$  — запасы продуктивной влаги на начало и конец вегетации данной культуры, мм;  $r$  — сумма осадков за период вегетации культуры, мм;  $\Sigma d$  — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за период вегетации, гПа.

Оценить влагообеспеченность сельскохозяйственных культур можно по одним запасам продуктивной влаги в почве, которые являются более точным комплексным показателем увлажнения полей,

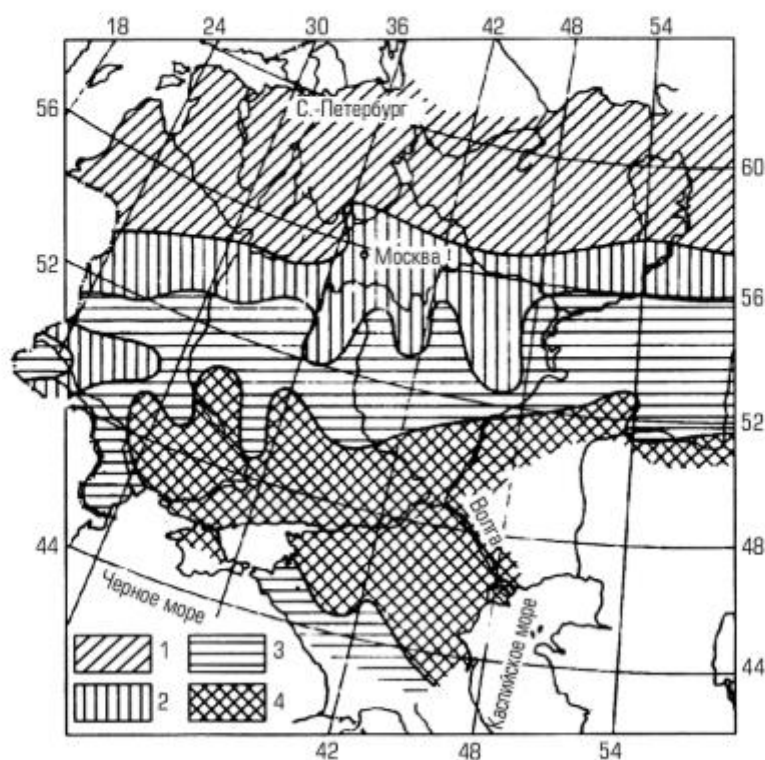


Рис. 11.6. Средние многолетние запасы продуктивной влаги под озимыми при посеве по непаровым предшественникам в слое почвы 0...100 см в декаду средних оптимальных сроков сева, мм:

1 — более 160; 2 — 121...160; 3 — 81...120; 4 — менее 80



чем суммы осадков. Сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии и Гидрометцентра составлен Атлас запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на европейской части России в разные периоды их развития в пахотном слое (0...20 см) и в слое 0...100 см (рис. 11.6). При этом к картам прилагаются номограммы, позволяющие определить влагозапасы различной обеспеченности (рис. 11.7). Методика работы с данной номограммой такая же, как и с представленной на рис. 11.4.

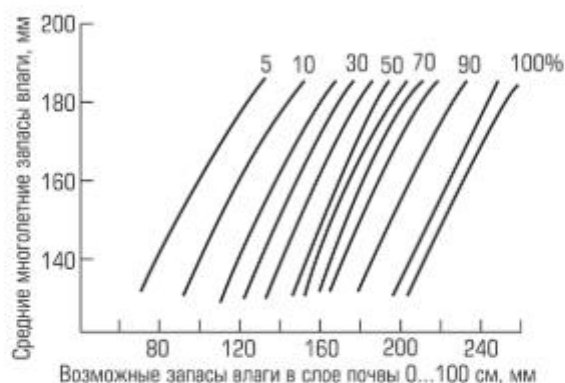


Рис. 11.7. Номограмма для расчета запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см различной обеспеченности

На основании исследований влияния запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на урожайность озимой пшеницы Е.С. Уланова установила различные градации запасов влаги и дала их оценку в основные периоды весенне-летней вегетации (табл. 11.3).

Таблица 11.3

**Оценка запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы**

Фаза	Запасы продуктивной влаги, мм			
	Хорошие	Удовлетворительные	Недостаточные	Плохие
Возобновление вегетации	150...200	120...150	100...120	< 100
Выход в трубку	140...180	100...140	80...100	< 80
Колосение	80...140	60...80	40...60	< 40
Налив зерна	80...100	40...80	30...40	< 25

Для картофеля после цветения оптимальные запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...50 см составляют 60...70 мм. Снижение запасов влаги до 30...35 мм в этот период вегетации резко снижает формирование и рост клубней.

По данным Ю.И. Чиркова, наиболее высокие урожаи зерна кукурузы обеспечиваются запасами продуктивной влаги 70...80 мм в слое почвы 0...50 см в фазе выметывания метелки. Высокие урожаи зеленой массы кукурузы получают, если в слое почвы 0...50 см запасы влаги в течение всего периода вегетации не опускались ниже 60 мм.

Достаточно объективным критерием влагообеспеченности растений является сравнение фактических запасов влаги  $W$  с наименьшей влагоемкостью  $W_{НВ}$ . По значению отношения  $W/W_{НВ}$  судят об оптимальности запасов влаги в почве.

Согласно А.А. Роде потребность в воде посевов удовлетворяется полностью, если нижняя граница оптимальных влагозапасов составляет для тяжелосуглинистых и глинистых почв не менее 70...80% НВ, средне- и легкосуглинистых — 65...70%. А верхняя граница оптимальных влагозапасов, как уже отмечалось, близка к НВ (в условиях глубокого залегания грунтовых вод).

Однако необходимо помнить, что экологический оптимум влажности почвы у разных растений существенно различается. Оптимальные значения влажности почв для некоторых сельскохозяйственных культур приведены ниже:

Сельскохозяйственные культуры	Влажность, % НВ
Рис	> 100
Огурец, чай, мандарин, мята перечная, луговые травы природных лугов	80...100
Кукуруза, овес, соя, картофель, гречиха, горох, капуста, клевер, полевые многолетние травы, смородина	70...80
Сахарная свекла, подсолнечник, виноград, корнеплоды, люцерна	60...70
Зернобобовые	50...60
Зерновые культуры (озимые и яровые)	30...40

#### 11.4. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПЕРЕЗИМОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Для большинства зимующих растений низкие температуры в течение зимы являются основным фактором, определяющим границу их возделывания.

В агрометеорологии для оценки климата в холодный период в качестве показателя используют средний из абсолютных годовых



Рис. 11.8. Повторяемость отклонений годовых минимумов температуры от среднего из абсолютных годовых минимумов

минимумов температуры (см. разд. 4.5). По его значению с помощью кривой повторяемости отклонений можно судить о вероятности климатических температур ниже любых пределов, возможных в данном районе (рис. 11.8).

Например, в Ленинградской области средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха равен  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как часто здесь минимальная температура опускается до  $-28$  и  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Находим отклонение этих температур от нормы. Соответственно они будут составлять  $2$  и  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Согласно рис. 11.8 такие отклонения имеют повторяемость соответственно  $75$  и  $20\%$ . И если  $-28$  и  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  — это критические температуры каких-либо культур, например кроны сливы и яблони, то в Ленинградской области слива будет вымерзать  $7,5$  лет из  $10$ , а яблоня —  $2$  года из  $10$  лет. При оценке условий перезимовки озимых и многолетних трав их критическую температуру сопоставляют со средним из абсолютных годовых минимумов на глубине узла кушения (корневой шейки).

Для общей характеристики условий перезимовки растений также используют различные классификации зим на основе температурного режима (табл. 11.4).

Общую комплексную характеристику зимнего периода можно вычислить по формуле А.М. Шульгина:

$$K_{\text{ш}} = t_{\text{м}}/h, \quad (11.9)$$

где  $t_{\text{м}}$  — средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за самый холодный месяц,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $h$  — средняя высота снежного покрова за этот же период, см.

По абсолютному значению  $K_{\text{ш}}$  оценивают степень суровости зимы. Если  $K_{\text{ш}} > 3$ , то зима весьма суровая, при  $K_{\text{ш}} = 1...3$  — суровая, при  $K_{\text{ш}} < 1$  — мягкая (несуровая).

Таблица 11.4

## Оценка степени суровости зимы (по А.М. Шульгину)

Степень суровости зимы	Средняя многолетняя температура самого холодного месяца, °С	Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха, °С
Теплая	>5	–
Очень мягкая	5...0	>–10
Мягкая	0...–5	–10...–20
Умеренно мягкая	–5...–10	–20...–25
Умеренно холодная	–10...–15	–25...–30
Холодная	–15...–20	–30...–35
Очень холодная	–20...–25	–35...–40
Умеренно суровая	–25...–30	–
Суровая	–30...–35	–40...–45
Очень суровая	–35...–40	<–45
Жестокая	<–40	–

Кроме температуры воздуха и почвы для оценки условий перезимовки озимых зерновых культур и многолетних сеяных трав используют данные о высоте и продолжительности залегания снежного покрова, глубине промерзания почвы, толщине притертой к почве ледяной корки и продолжительности ее залегания.

Для оценки условий перезимовки озимых культур В.А. Моисейчик рекомендует комплексный показатель  $\bar{K}_M$ , в котором учитывается географическое распределение посевов по территории России. Например, для степной зоны

$$\bar{K}_M = 0,4844 \frac{\bar{t}_{\min}}{t_{\text{кр}}} + 1,3081 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,6071, \quad (11.10)$$

где осредненные по области средние многолетние значения:  $\bar{t}_{\min}$  — минимальная температура воздуха, °С;  $t_{\text{кр}}$  — критическая температура озимых культур, °С;  $\bar{H}$  — максимальная глубина промерзания почвы, см;  $\bar{n}$  — продолжительность периода со снежным покровом, сут.

При  $\bar{K}_M < 1$  озимые погибают на площади около 10%, при  $\bar{K}_M > 1$  условия перезимовки резко ухудшаются, в результате чего озимые гибнут на площади до 30%.

В Гидрометцентре России по среднему многолетнему показателю  $\bar{K}_M$  рассчитана комплексная количественная оценка перезимовки озимых культур.

К районам с плохими и очень плохими условиями перезимовки возделываемых сортов озимых культур относится ряд северных и

восточных районов Центрально-Черноземной зоны, Среднего и Нижнего Поволжья, Юга Урала, Западной и Восточной Сибири.

Сотрудниками ВНИИСХМ разработаны эталонные классы метеорологических условий перезимовки озимых культур. Методом сравнения метеорологических показателей зимнего периода с эталонными количественными показателями можно оценить условия перезимовки озимых зерновых культур.

Для оценки условий перезимовки плодовых культур Г.Г. Белобородовой предложен коэффициент суровости зимы:

$$K_B = П/n, \quad (11.11)$$

где  $П$  — число дней с минимальной температурой воздуха, вызывающей повреждения культур, за период зимовки;  $n$  — продолжительность холодного периода, сут.

Коэффициент характеризует «насыщенность» холодного периода критическими температурами для плодовых культур. Чем больше значения  $K_B$ , тем хуже условия перезимовки.

Итак, наиболее широко для сельскохозяйственной оценки климата используют следующие показатели: сумма активных температур, средняя температура самого теплого месяца, продолжительность вегетационного периода (при оценке термических ресурсов вегетационного периода); сумма осадков, коэффициенты увлажнения, запасы продуктивной влаги (при оценке увлажнения вегетационного периода); средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы, средняя температура самого холодного месяца, высота снежного покрова (для характеристики условий зимнего периода). Сопоставляя значения этих показателей с потребностью сельскохозяйственных культур в тепле, влаге и с критическими температурами растений, можно определить степень соответствия агроклиматических ресурсов любой территории требованиям сельскохозяйственных культур.

## 11.5. МИКРОКЛИМАТ

Необходимо отметить, что приведенные выше оценки теплообеспеченности, увлажнения и перезимовки растений справедливы для открытых ровных территорий. Обусловлено это тем, что значения всех агроклиматических показателей получены на основании измерений, проводимых на метеорологических станциях, расположенных на открытых ровных участках. В связи с неоднородностью подстилающей поверхности (неровности рельефа, наличие крупных водоемов, лесных массивов и т.п.) в пределах одной климатической зоны всегда можно выделить территории мезо- и микромасштаба, существенно различающиеся между собой по радиационному, тепло-

вому и водному балансам и их составляющим, т.е. по климатическому потенциалу, а следовательно, и по условиям произрастания сельскохозяйственных культур. Поэтому при сельскохозяйственной оценке климата это необходимо учитывать.

*Мезоклимат* — климат относительно крупных географических ландшафтов, достаточно однородных по комплексу природных условий. Мезоклимат — климатическая единица, занимающая по масштабу положение между макро- и микроклиматом.

*Микроклимат* — климат приземного слоя воздуха (обычно до высоты 2 м над поверхностью почвы) небольшой территории (района, поля, сада, склонов, возвышенностей, равнин, котловин и т.п.). Его формирование обусловлено неоднородностью подстилающей поверхности, на которой неодинаково протекают процессы нагревания, охлаждения, увлажнения, высыхания, формирования снежного покрова, его таяния и т.д.

Научные основы отечественной микроклиматологии заложены еще А.И. Воейковым, поскольку именно он сформулировал закон о влиянии форм рельефа на амплитуду температуры и влажности, дал определение деятельного слоя. В дальнейшем исследования В.В. Докучаева, Г.Н. Высоцкого, Г.А. Любославского, А.И. Кайгородова способствовали становлению микроклиматологии как научной дисциплины. Существенный вклад в развитие микроклиматологии внесли работы Г.Т. Селянинова, С.А. Сапожниковой, И.А. Гольцберг, Е.Н. Романовой, М.И. Щербаня и др.

Выполненные в нашей стране и за рубежом разработки показали, что при наличии микроклиматической неоднородности на близких расстояниях климатические ресурсы могут изменяться сильнее, чем при переходе из одной климатической зоны в другую.

Климатические широтные градиенты метеорологических величин и их микроклиматическая изменчивость приведены в табл. 11.5. Широтные градиенты радиационных характеристик (прямая радиация, радиационный баланс, ФАР), как следует из таблицы, примерно в 10 раз меньше, чем микроклиматические различия между северными и южными склонами.

Приблизительно такое же соотношение сохраняется и для показателей термического режима, т.е. микроклиматические различия между контрастными по микроклимату соседними участками соответствуют изменению метеорологических величин при смещении на  $10^\circ$  по широте.

Есть микроклиматические различия, хотя и меньшего масштаба, в различных местоположениях по сравнению с ровным открытым местом, например, в теплообеспеченности. Изменение теплообеспеченности за безморозный период различных местоположений по

Таблица 11.5

**Климатические широтные градиенты метеорологических величин и их микроклиматическая изменчивость (по Е.Н. Романовой, Г.И. Мосоловой, И.А. Бересневой)**

Метеорологические величины	Климатические градиенты, на 1° широты	Микроклиматическая изменчивость при переходе с северного склона на южный (крутизна склонов 10°)
$S$ , МДж/(м <sup>2</sup> · мес.)	8,4...12,6	46,1...155,0
$B$ , МДж/(м <sup>2</sup> · мес.)	4,2...8,4	41,1...134,1
$Q_{\text{ФАР}}$ , МДж/(м <sup>2</sup> · мес.)	2,1...5,0	29,3...75,5
$\bar{t}$ , °С	0,6...0,8	5...7
$\bar{t}_{\text{max}}$ , °С	0,6...0,8	9...10
$\bar{t}_{\text{min}}$ , °С	0,7...0,9	5...9
$\bar{t}_{20}$ , °С	0,6...0,8	2...4
$\tau_{\text{б.л}}$ сут.	3...5	20...30

Примечание.  $S$  — прямая радиация;  $B$  — радиационный баланс;  $Q_{\text{ФАР}}$  — суммарная фотосинтетически активная радиация;  $\bar{t}$ ,  $\bar{t}_{\text{max}}$ ,  $\bar{t}_{\text{min}}$  — соответственно среднесуточная, средние максимальная и минимальная температуры воздуха;  $\bar{t}_{20}$  — температура почвы на глубине 20 см;  $\tau_{\text{б.л}}$  — продолжительность безморозного периода.

сравнению с открытым ровным местом (по И.А. Гольцберг) приведено ниже:

Форма рельефа	$\Sigma t_{\text{б.л}}$ , °С
Вершины, верхние и средние части крутых склонов ( $\Delta h > 50$ м, уклон $> 10^\circ$ )	150...200
Вершины и верхние части пологих склонов ( $\Delta h < 50$ м, уклон до $10^\circ$ )	50...150
Долины больших рек, берега водоемов	100...200
Равнины, плоские вершины, дно широких (более 1 км) открытых долин	0
Средние части пологих склонов (уклон $< 10^\circ$ )	0
Дно и нижние части склонов нешироких, замкнутых долин	-200...-300
Котловины	-250...-350
Нижние части склонов и прилегающие части дна широких долин	-200...-300
Замкнутые широкие плоские долины	-250...-300

Поэтому климатические ресурсы тепла с учетом микрорельефа будут существенно (на  $\pm 100...300$  °С) отличаться от значений, приводимых в климатических справочниках и атласах. Это необходимо учитывать при расчете теплообеспеченности культуры в конкретном районе, даже хозяйстве, поскольку увеличение суммы температур

только на 100 °С равноценно продвижению на юг примерно на 100 км, что дает возможность заменить раннеспелые (наименее урожайные) сорта холодостойких культур на среднеспелые, а среднеспелые — на позднеспелые. При изменении суммы активных температур на +300 °С можно выращивать и теплолюбивые культуры.

Существенно изменяется в зависимости от рельефа и заморозкоопасность. А заморозки, как известно, значительно сокращают вегетационный период и возможность возделывания теплолюбивых культур (подробнее о заморозках см. разд. 12.1.5).

Отмечаются различия и в термическом режиме почвы даже в одинаковых условиях рельефа под влиянием неоднородности ее гранулометрического состава (табл. 11.6).

Таблица 11.6

**Изменение термического режима почвы на глубине 20 см под влиянием ее гранулометрической неоднородности (по Е.Н. Романовой, Г.И. Мосоловой, И.А. Бересневой)**

Гранулометрический состав почвы	Изменение дат перехода средней суточной температуры (в днях) через		Сумма температур выше 10 °С	Продолжительность периода с температурой выше 15 °С, сут.
	5 °С	10 °С		
Песчаная	-8	-12	340	26
Супесчаная	-6	-9	290	22
Легкосуглинистая	-3	-5	140	11
Среднесуглинистая	0	0	0	0
Тяжелосуглинистая	3	5	-150	-10
Торфянистая осушенная	13	14	-100	-2

Примечание. Изменения даны в отклонениях от среднесуглинистой почвы.

Неровности рельефа обуславливают и перераспределение осадков (снега и дождя). Следовательно, возникают различия в условиях перезимовки и влагообеспеченности культур (табл. 11.7). Из данных таблицы следует, что в верхних частях склонов отмечается недостаток влаги, особенно в летний период, а в нижних — избыток ее.

Учитывая различия в температурном режиме и влагозапасах, можно говорить о том, что в почве тоже отмечаются микроклиматические различия. Это влияет на сроки поспевания почвы, скорость прорастания семян, рост корневой системы и надземной массы растений, их продуктивность, а в зимний период от климата почвы в значительной мере зависит перезимовка растений.

В практике сельского хозяйства сроки весенних полевых работ устанавливают, как правило, с учетом температуры воздуха, тогда как отдельные участки в зависимости от типа почвы и ее состояния



Таблица 11.7

**Средние многолетние запасы продуктивной влаги в слое 0...50 см среднесуглинистых почв в различных местоположениях для условий Ленинградской области, мм**  
(по Е.Н. Романовой, Г.И. Мосоловой, И.А. Бересневой)

<i>Местоположение</i>	<i>Теплый период</i>	<i>Весна</i>	<i>Лето</i>	<i>Осень</i>
Верхние части склонов:				
южных	50...75	100...125	25...50	75...100
западных	75...100	100...125	50...70	75...100
Нижние части склонов:				
южных и западных	125...150	150...175	100...125	125...150
северных и восточных	150...175	175...200	125...150	150...175
Низменности	150...175	175...200	125...150	150...175
Равнины, верхние части северных, средние части северных и восточных склонов	125...150	150...175	100...125	125...150

имеют различный температурный режим, что нельзя выявить по температуре воздуха. Весной тяжелые почвы, содержащие много влаги, просыхают медленно, поэтому прогревание их до 5 °С на глубине 20 см происходит на 10...15 сут. позже по сравнению с воздухом. Легкие же почвы прогреваются до 5 °С на 7...10 сут. раньше, чем воздух. Такие различия можно наблюдать даже в пределах одного хозяйства.

Таким образом, необходимость учета микроклимата сельскохозяйственных полей при рациональном размещении культур в полях севооборота или новых перспективных сортов и гибридов, при дифференцировании мелиоративных и агротехнических мероприятий, земельно-оценочных работ и других мероприятий очевидна.

Вот лишь два примера влияния микроклимата на урожайность некоторых сельскохозяйственных культур (рис. 11.9, табл. 11.8).

Из рис. 11.9 видно, что полный сбор урожая огурцов и томатов возможен на возвышенностях и верхних частях южных склонов. В остальных случаях, особенно на полях, расположенных на нижних частях северных склонов и в долинах, урожайность этих культур резко снижается. Это обусловлено, с одной стороны, недостатком тепла и избытком влаги в почве в этих местоположениях. С другой стороны, повышенная здесь влажность воздуха благоприятствует развитию вредителей и возбудителей болезней растений, что также снижает урожайность.

Из табл. 11.8 следует, что изменения урожайности в зависимости от местоположения значительны: в наименее обеспеченном теплом районе II это изменение достигает 200%.

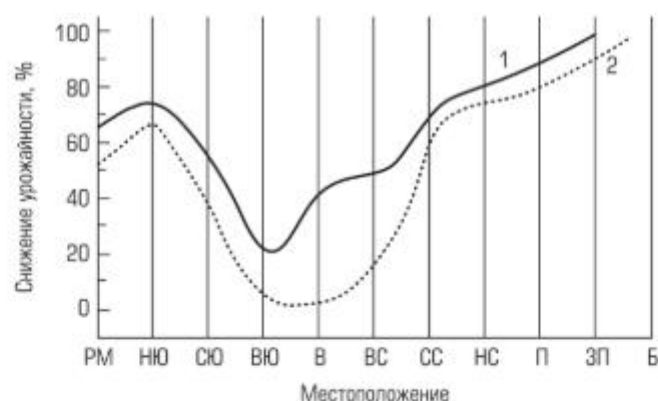


Рис. 11.9. Снижение урожайности огурцов (1) и томатов (2) в зависимости от теплообеспеченности различных местоположений в центральной части Нечерноземья (по Е.Н. Романовой, Г.И. Мосоловой, И.А. Бересневой). Местоположения: РМ — ровные участки; НЮ, СЮ, ВЮ — нижняя, средняя, верхняя части склонов южной экспозиции; В — вершины; ВС, СС, НС — верхняя, средняя, нижняя части склонов северной экспозиции; П, ЗП, Б — подножия склонов, замкнутые понижения, болота

Таблица 11.8

**Влияние местоположения на урожайность озимой пшеницы и сахарной свеклы по агроклиматическим районам Нечерноземья (по Е.Н. Романовой, Г.И. Мосоловой, И.А. Бересневой)**

Агроклиматический район	Культура	Урожайность, т/га		
		Фоновая	Максимальная	Минимальная
II (северный район)	Озимая пшеница	1,3	1,6	0,8
	Сахарная свекла	19,5	24,0	12,0
III (центральный район)	Озимая пшеница	1,6	1,9	0,8
	Сахарная свекла	20,0	22,5	16,0
IV (южный район)	Озимая пшеница	2,0	2,2	1,8
	Сахарная свекла	24,0	25,0	18,0

Если принять во внимание еще и микроклиматические различия поспевания почвы (см. табл. 11.6), то зависимость урожайности от особенностей микроклимата будет еще больше. По данным А.П. Федосеева запаздывание для яровых по срокам сева на 10 сут. приводит к недобору 17...22% зерна, а микроклиматическая изменчивость поспевания почвы только за счет различий гранулометрического (механического) состава составляет примерно 10 сут.

Таким образом, учет микроклимата сельскохозяйственных угодий представляет собой один из резервов повышения продуктивности производства без дополнительных затрат. Учет особенностей микро-

климата территории также позволяет заметно улучшить оправдываемость методов агрометеорологических оценок и прогнозов.

**Основные методы изучения микроклимата.** Микроклиматические явления столь многообразны и многочисленны, что изучить каждый участок земной поверхности в микроклиматическом отношении невозможно. Вот почему при микроклиматических исследованиях основное внимание обращают на изучение особенностей физических процессов в условиях наиболее типичных участков местности. Например, при исследовании микроклимата сельскохозяйственных угодий подбирают участки, занятые основной для данного района культурой с учетом агротехники (орошаемое, неорошаемое поле) и почвенного покрова, а также рельефа местности (долина, склоны, вершина, плато и т.д.). По возможности необходимо организовать сравнительные наблюдения на участке черного пара, чтобы судить о степени влияния данной культуры на микроклиматические особенности участка.

После выбора участков для исследований составляют схематический план района и описание местоположения каждого участка. При этом оценивают экспозицию и крутизну склонов, превышение возвышенностей над наиболее низкими участками, ширину долины, степень ее замкнутости и облесенности склонов и т.п. Методика глазомерной оценки местности разработана И.А. Гольцберг.

На основании глазомерной съемки выбирают опорные точки измерений и маршруты наблюдений с таким расчетом, чтобы отразить все микроклиматические особенности исследуемой территории.

В зависимости от задачи и технических возможностей в программу микроклиматической съемки включают наблюдения за температурой и влажностью воздуха и почвы, скоростью и направлением ветра, облачностью, потоками лучистой энергии. Измерения во всех точках проводят одновременно через определенные промежутки времени.

Микроклиматические наблюдения необходимо проводить в ясную или малооблачную тихую погоду, когда микроклиматические различия местности проявляются особенно четко.

Чтобы верно оценить полученные данные и сделать правильные практические выводы, необходимы тщательная обработка полученных материалов и приведение их к длинному многолетнему ряду наблюдений ближайшей метеорологической станции (методику приведения см., например: *Дроздов О.А.* Основы климатической обработки метеорологических наблюдений. Л., 1956).

По результатам микроклиматических наблюдений составляют комплексную микроклиматическую карту, пример которой приведен на рис. 11.10.

Простейший вид микроклиматической съемки, которую можно провести, не имея приборов, — обход или объезд территории во

время заморозка при тихой ясной погоде перед восходом Солнца, когда еще не начал таять иней. Отмечая на плане хозяйства места, на которых лежит иней, можно получить представление о заморозкоопасности отдельных участков. Съемку следует проводить несколько раз, так как в каждом случае в зависимости от условий погоды, в которых протекал заморозок, его интенсивности степень морозобойности участка будет несколько меняться. При этом надо следить, чтобы состояние подстилающей поверхности было более или менее однородным. На черном пару вследствие хорошей теплопроводности почвы иней не будет даже в том случае, если поле расположено в понижении и, по существу, заморозкоопасно. Больше всего иней будет на густом травостое вследствие значительного охлаждения его под влиянием ночного излучения и затруднительного теплообмена между воздухом и почвой под таким покровом. После 5...6 таких съемок получают уже достаточно надежное представление о сравнительной морозобойности отдельных участков хозяйства.

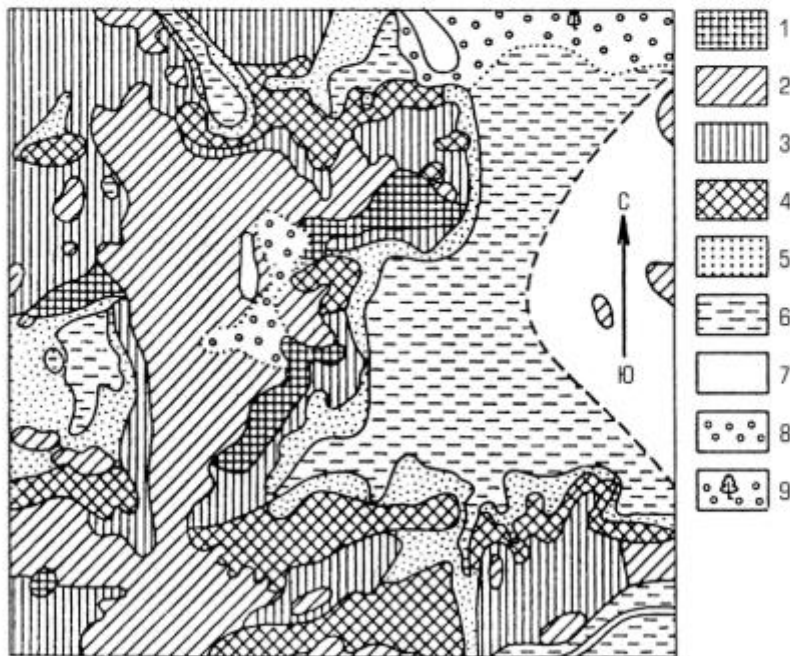


Рис. 11.10. Микроклиматическая карта хозяйства Ленинградской области. Участки:  
 1 — самые теплые, сравнительно сухие; 2 — теплые, сравнительно сухие;  
 3 — умеренно теплые, достаточно увлажненные; 4 — прохладные, увлажненные;  
 5 — холодные, влажные; 6 — морозобойные, избыточно увлажненные;  
 7 — фоновые климатические нормы, июль; 8 — кустарники; 9 — лес

Для целей микроклиматологии используют аэрофотографическую и спутниковую информацию.

Перспективен и метод физического моделирования, так как выявление различных микроклиматических закономерностей требует соблюдения принципа «при прочих равных условиях», что в природе нередко бывает труднодостижимо, так же, как и систематизированные натурные исследования микроклиматического эффекта различных комплексов неоднородностей подстилающей поверхности. В камерах искусственного климата — *фитотронах* — соблюдение этих принципов не вызывает затруднений.

Фитотроны позволяют моделировать метеорологические условия в широких пределах: засуху, суховеи, заморозки и т.д. А это дает возможность установить степень приспособляемости различных сельскохозяйственных культур и их сортов к неблагоприятным условиям, критические и оптимальные значения для растений различных показателей, оптимальные сроки сева и т.п.

В фитотронах также можно получать несколько урожаев за один год, что ускоряет селекционный процесс.

Фитотроны используют и при разработке методов борьбы с вредителями и болезнями растений.

Одним из перспективных направлений в микроклиматических исследованиях является метод эталонных урожаев, предложенный Х.Г. Тоомингом. В рамках этого подхода прежде всего определяется потенциальная урожайность (ПУ), т.е. урожайность в идеальных метеорологических условиях. С ней сравнивается действительно возможная урожайность (ДВУ), под которой подразумевается максимально возможная урожайность в существующих условиях, а также урожайность в производстве. ПУ и ДВУ определяются методом математического моделирования (см. гл. 16). В табл. 11.9 приведены результаты расчета эталонных урожайностей картофеля, проведенного Х.Г. Тоомингом и Ю.В. Сеппом.

Таблица 11.9

**Средние значения ПУ, ДВУ, ΔУ на разных частях склонов крутизной 10° по сравнению с ровной местностью, т/га**

Показатель	Часть северного склона				Ровная местность	Часть южного склона			
	Верхняя	Средняя	Нижняя	Подножие		Верхняя	Средняя	Нижняя	Подножие
ПУ	7,31	7,31	7,31	7,73	7,75	8,08	8,08	8,08	7,75
ДВУ	5,53	5,85	6,08	5,20	6,20	5,47	5,84	6,15	6,26
ΔУ	1,78	1,46	1,23	2,53	1,55	2,61	2,24	1,93	1,49

Потенциальная урожайность, как видно из таблицы, на южном склоне всегда выше, чем на северном. Но для действительно возможной урожайности эти закономерности не всегда имеют место.

Только на нижней части и у подножия южных склонов, где влагообеспеченность растений близка к оптимальной, ДВУ выше, чем на северных склонах.

**Мелиорация микроклимата сельскохозяйственных угодий.** *Мелиорация микроклимата* — комплекс мероприятий, направленных на его улучшение. Это достигается путем изменения радиационного, водного и теплового балансов деятельной поверхности и приземного слоя воздуха.

По данным Д.А. Куртнера и др., сегодня известно до 40 видов мелиорации, охватывающих все стороны регулирования микроклимата полей. Рассмотрим некоторые из них.

В северных и северо-западных районах земледелия, где около 70% радиационного тепла затрачивается на испарение, а на нагрев почвы и воздуха остается лишь 30%, к основным способам по улучшению микроклимата относятся приемы, устраняющие переувлажнение почвы и повышающие теплообеспеченность растений.

Это прежде всего осушение полей, создание гребней и гряд, мульчирование поверхности почвы, прикатывание почвы. Немаловажное значение имеет ориентация гребней для лучшего их прогрева в солнечные дни. В последние годы в производственных масштабах все шире практикуют посадки летних кулис из быстрорастущих высококоротких культур, защищающие посевы от холодных ветров.

В засушливых земледельческих районах страны главная задача улучшения микроклимата — повышение влагообеспеченности посевов и естественных фитоценозов. Для этого создано и постоянно развивается гидротехническое и ирригационное строительство.

В Российской Федерации в настоящее время насчитывается около 6 млн га орошаемых земель: лесостепь, степь, сухая степь и полупустыни. Однако сильная ветровая деятельность в этих зонах приводит к излишнему испарению влаги, увеличивает непродуктивную транспирацию сельскохозяйственных культур. В осенне-весенний период, когда почва не покрыта растительностью, возникает дефляция почвы, в летний ухудшаются условия опыления, происходит полегание посевов. Кроме того, при орошении неизбежны непроизводительные потери влаги на фильтрацию в глубокие горизонты почвы и поверхностный сток, испарение с открытой водной поверхности. Поэтому в последние годы применяют новый способ — капельное орошение, с помощью которого подача воды (по специальным капельным трубкам) регулируется с учетом агро-гидрологических свойств почвы и требований к условиям влагообеспеченности выращиваемой культуры. Этот способ позволяет

на 30% по сравнению с традиционными методами орошения снизить расходы дорогостоящей воды.

Одним из приемов повышения эффективности орошения является создание полезащитных лесных полос. По данным сотрудников ВНИИ агролесомелиорации, из-за снижения скорости ветра под влиянием лесных полос в зоне, равной 20-кратной высоте деревьев, испаряемость уменьшается на 25...33%. А если в условиях орошения испаряемость уменьшается на 20%, то экономия влаги за вегетационный период на посевах зерновых колосовых, по их расчетам, составляет около 70...80 мм, что равноценно одному-двум поливам.

Ослабление турбулентного обмена также способствует оптимизации температурного режима на межполосных полях, повышению влажности воздуха.

В холодный период лесополосы задерживают снег на полях, тем самым уменьшают промерзание почвы, обеспечивают более равномерное его стаивание весной и повышение влагозапасов в почве.

Таким образом, лесополосы изменяют весь комплекс агрометеорологических величин. В результате на защищенных лесополосами полях существенно повышается *биоклиматический потенциал* (БКП) территории — суммарный показатель тепловых и водных ресурсов, от которых (при других одинаковых условиях) зависит продуктивность растений. Например, на юге России лесополосы способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур на 15...20%.

Более подробно эти методы и результаты их применения изложены в главах, где рассмотрены метеорологические величины: лучистая энергия, температура почвы и воздуха, осадки и т.д.

Большие микроклиматические изменения происходят и при создании *защищенного грунта*.

В зависимости от методов защиты и степени комфортности созданных условий защищенный грунт делят на утепленный, под которым понимают открытые участки, укрываемые на ночь или в неблагоприятную погоду различными утеплительными материалами (матами, соломой, пленкой и пр.), и культивационные сооружения, состоящие из теплиц (на солнечном или искусственном обогреве), парников и малогабаритных временных укрытий.

При этом микроклиматические условия складываются неоднозначно в зависимости от основных конструктивных особенностей культивационных сооружений (блочные или ангарные, с двускатной кровлей или полусферической), их размеров и пространственной ориентации, вида покрытия (стекло или полимерные материалы) и его толщины и т.д. Однако качественные изменения основных метеорологических величин будут близкими.

*Радиационные условия.* Поток солнечных лучей, достигающих внешней поверхности покрытия, не весь проникает в теплицу. Часть

солнечных лучей задерживается непрозрачными элементами конструкции, часть поглощается материалом покрытия, а другая отражается от него. В результате суммарная радиация в теплице составляет 60...80% радиации, поступающей на открытую поверхность. Причем относительное количество проникающего в теплицу солнечного света меньше утром и вечером, чем в полдень, а в облачные дни его в несколько раз меньше, чем в солнечные. Важно отметить, что в суммарном потоке солнечной радиации в культивационных сооружениях преобладает рассеянная радиация. Это положительный момент, так как рассеянный свет более богат фотосинтетически активными лучами, чем прямой (см. разд. 2.5).

Следует иметь в виду, что в реальных условиях эксплуатации проницаемость покрытий может быть гораздо меньше из-за загрязнения кровли и конденсата влаги на внутренней поверхности ограждения. Вместе с тем в южных районах в теплицах нередко возникает избыток солнечной радиации, угнетающей фотосинтез растений.

*Температура почвы и воздуха.* Как отмечалось ранее, температурный режим определяется значением радиационного баланса и интенсивностью тепло- и влагообмена деятельной поверхности и атмосферы (см. гл. 2 и 3). На открытом участке тепло, аккумулируемое поверхностью в процессе трансформации лучистой энергии в тепловую, за счет динамической и термической турбулентности быстро распространяется и рассеивается в большом объеме атмосферы. В защищенном грунте эти процессы практически отсутствуют, поэтому и почва, и воздух в теплицах прогреваются сильнее, чем на открытом участке. Защита, таким образом, создает парниковый эффект. Кроме того, парниковый эффект обусловлен уменьшением эффективного излучения деятельной поверхности, поскольку и стекло, и полимерные материалы слабо пропускают уходящую тепловую инфракрасную радиацию.

Усилению парникового эффекта способствует также уменьшение затрат тепла на испарение из-за увеличения влажности воздуха в связи с затрудненным уходом пара из культивационного сооружения в атмосферу.

Количественные различия в температурах в теплицах и на открытых местах зависят от множества факторов: широты места, времени года, облачности, скорости ветра, теплофизических показателей самих культивационных сооружений и т.д. Например, остекленные теплицы, как правило, хуже герметизированы, чем теплицы с покрытием из полимерных материалов. Поэтому теплообмен и влагообмен с наружным воздухом у них лучше и различия в температурах будут меньше.

Тем не менее в ясную и малооблачную погоду эти различия могут составлять 10...20 °С и более. В результате в теплицах температура воздуха может существенно превышать биологический оптимум растения. При этом надо иметь в виду, что днем, как правило, темпера-



тура листьев выше, чем температура воздуха, и таким образом их температура будет приближаться к биологическому максимуму. А это приводит к угнетению фотосинтеза, появлению ожогов, снижению содержания крахмала и сахаров, вытягиванию стебля, стерильности пыльцы и т.п. и даже гибели растений.

В пасмурную погоду и ночью парниковый эффект незначителен, поэтому контрасты температур уменьшаются до нескольких градусов. Например, ночью в теплице обычно теплее всего на 2...4 °С. Однако, если на ограждающей поверхности не образуется конденсат, в защищенном грунте может быть на 1...2 °С холоднее, чем на открытом воздухе. И на невысоком общем температурном фоне при застое воздуха в теплицах температура в ней может опуститься до заморозка. Подобные закономерности, но несколько сглаженные характерны и для температуры почвы.

*Влажность воздуха.* Влагосодержание воздуха в культивационных сооружениях всегда выше, чем на открытом месте, что обусловлено очень слабым воздухообменом. По данным О.Д. Рожанской, при средней относительной влажности на открытом месте в летний период 50...60% в пленочных теплицах ее значение возрастало до 90...95%. Ночью относительная влажность воздуха приближалась к 100%. В остекленных теплицах вследствие их худшей герметичности разница во влагосодержании по сравнению с открытым местом несколько меньше. Однозначно оценить влажность воздуха для выращиваемых в культивационных сооружениях культур трудно. Например, огурцы требуют более высокой влажности воздуха, томаты — сравнительно низкой (высокая влажность воздуха вызывает у них заболевание фитофторозом). Очевидно одно, что высокая влажность воздуха подавляет испарение из почвы и транспирацию растений. А прекращение транспирации, этого естественного процесса регулирования температуры растений, также способствует их перегреву со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями, о чем упоминалось ранее.

Защищают растения от перегрева с помощью вентиляции, путем дождевания и экранирования от света.

Необходимо отметить, что регулирование микроклимата защищенного грунта — сложная проблема. Ее решение зависит от конструктивных особенностей сооружений, вида культуры, агротехники выращивания и т.д.

Таким образом, изучение климата и микроклимата позволяет обосновать идею об организации природного конвейера — почти круглогодичного производства сельскохозяйственной продукции. Соответствующий подбор сортов культур (ранних, средних, поздних) и рациональное размещение их в разных частях страны могли бы позволить резко удлинить сезон производства свежих овощей и фруктов.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. В чем суть методики сельскохозяйственной оценки климата?
2. Перечислите показатели, используемые при оценке теплообеспеченности растений.
3. Как определить обеспеченность растений теплом?
4. Назовите прямые показатели влагообеспеченности растений.
5. Как рассчитываются косвенные показатели влагообеспеченности? Приведите примеры.
6. Перечислите основные показатели, используемые при оценке условий зимнего периода.
7. Что такое мезоклимат, микроклимат? Назовите основные факторы их формирования.
8. Где и при каких условиях возникают наибольшие микроклиматические различия?
9. Какие местоположения самые теплые (холодные)?
10. Какие местоположения бывают самыми влажными (сухими)?
11. Расскажите об основных методах изучения микроклимата.
12. Какие приемы используют для мелиорации микроклимата сельскохозяйственных угодий?
13. Опишите микроклимат защищенного грунта.

## ГЛАВА 12

### **ОПАСНЫЕ (НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ) ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ**

---

Гидрометеорологические явления (или комплексы гидрометеорологических величин) являются опасными, если они по своему значению, интенсивности, продолжительности, охвату значительных территорий или времени возникновения могут нанести значительный ущерб отдельным отраслям экономики.

В последние годы в России, как и в целом в большинстве стран, наметилась устойчивая тенденция к возрастанию материального ущерба экономики от опасных природных явлений. За последние 10 лет число случаев опасных явлений увеличилось более чем в 2,5 раза.

К гидрометеорологическим явлениям, опасным для сельского хозяйства, относятся засуха, суховей, пыльные бури, заморозок, градобитие, комплекс явлений зимнего периода (сильные морозы, гололед, вымокание и выпревание озимых и т.д.).

Особо опасными считают такие явления, которые по своей интенсивности, времени возникновения, продолжительности или площади распространения могут нанести или наносят значительный ущерб народному хозяйству.

При общем увеличении урожайности сельскохозяйственных культур колебания ее по годам во многих странах мира, в том числе и в России, остаются значительными, со временем не уменьшаются или уменьшаются мало. Это означает, что влияние неблагоприятных погодных условий на урожайность культурных растений еще велико. Особенно это относится к новым высокопродуктивным сортам и гибридам, имеющим более высокий уровень обмена веществ и энергии. Поэтому интенсивные сорта и гибриды культурных растений обладают повышенной чувствительностью к условиям среды.

Последний вывод очень существен, он заставляет более серьезно относиться к опасным явлениям погоды и мерам защиты от них в условиях нерегулируемого климата.

Одна из задач сельскохозяйственной оценки климата, как отмечалось в гл. 11, — учет всех неблагоприятных гидрометеорологических явлений, возможных в данном районе.

Справочная база данных по опасным явлениям содержится в научно-прикладных справочниках по климату и агроклиматическим ресурсам.

## 12.1. ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА

### 12.1.1. Засухи и суховеи

Засушливые явления всегда представляли проблему для эффективного использования сельскохозяйственных угодий в России, так как около 70% посевных площадей зерновых культур расположено в районах недостаточного и неустойчивого увлажнения. По данным А.И. Бедрицкого, из явлений, наносящих крупномасштабный ущерб экономике, наиболее часто повторяются засухи и суховеи (50%).

*Засуха* — агрометеорологическое явление, при котором происходит резкое несоответствие между потребностью растений во влаге и ее поступлением из почвы. Это наблюдается при длительном отсутствии осадков и повышенной транспирации, что нарушает нормальное водоснабжение растений.

*Суховей* — ветер при высокой температуре и низкой влажности воздуха. Температура при суховеях всегда выше 25 °С и часто повышается до 35...40 °С, относительная влажность ниже 30%, очень велик дефицит влажности воздуха (20...22 гПа). Скорость ветра — не менее 5 м/с, преобладающее направление ветра — восточное или юго-восточное, иногда южное. Эти факторы вызывают, как и при засухе, сильное испарение, что приводит к нарушению водного баланса растений.

Под воздействием засухи и суховея ткани растений обезвоживаются, в результате чего нарушаются физиологические процессы: фотосинтез, дыхание, углеводный и белковый обмен.

В результате сильного перегрева растений при засухе или суховее происходит *запал растений*, т.е. частичное разрушение хлорофилла. Внешними признаками ожогов надземных органов растений являются пожелтение, побеление, покраснение или появление бесцветных пятен на листьях. Из-за сухости воздуха нарушаются процессы опыления и, например, у злаков происходит образование череззерницы. А завязавшееся зерно обезвоживается, сморщивается, т.е. происходит *захват зерна*. При этом оно теряет свою массу и качество. В итоге снижается продуктивность растений.

При высоких температурах и отсутствии влаги создаются благоприятные условия для массового размножения многих видов засухоустойчивых (ксерофильных) насекомых, клещей и грызунов. Это как многоядные (саранчовые, луговой мотылек, паутинные клещи и др.), так и специализированные на зерновых — клоп-черепашка, зерновая совка и др., на картофеле — колорадский жук, на свекле — свекловичные блошки, долгоносики и т.д.

В засушливых условиях уменьшается интенсивность развития болезней, вызываемых грибными и бактериальными патогенами, но

усиливается опасность вирусов и некоторых других болезней (сухая гниль, мучнистая роса и др.).

Сорная растительность, хотя и не имеет сильного развития при таких условиях, но, обладая повышенной конкурентной способностью в борьбе за влагу по сравнению с культурными растениями, становится более опасной и вредоносной.

Многочисленные исследования происхождения засух и суховеев показали, что их образование на территории России связано с циркуляцией атмосферы, приводящей к установлению длительной антициклональной погоды. Обычно это обширный, малоподвижный антициклон, приходящий на европейскую часть России и в Западную Сибирь из Арктики (примерно 70% всех случаев).

Воздушные массы таких антициклонов характеризуются большой прозрачностью и малой влажностью воздуха. Устанавливаясь над центральной частью, югом или юго-востоком европейской части России, над югом Западной Сибири, эти антициклоны приводят к формированию ясной или малооблачной погоды (см. разд. 10.3). Вследствие этого происходит быстрая трансформация арктического воздуха: он прогревается, становится еще суше. Транспирация усиливается, осадки не выпадают, и наступает обезвоживание тканей растений.

Различают *атмосферную засуху*, обуславливающую сильную транспирацию растений и испарение с поверхности почвы, и *почвенную засуху*, характеризующуюся недостатком физиологически доступной растениям влаги в почве. Атмосферная засуха обычно предшествует почвенной.

По времени наступления засуху подразделяют на весеннюю, летнюю и осеннюю.

*Весенняя засуха* характеризуется невысокой температурой и низкой относительной влажностью воздуха, малыми запасами продуктивной влаги в почве и сухими ветрами. Весенняя засуха замедляет прорастание семян и появление всходов, вызывая при этом их изреженность, ослабляет укоренение рассады. Яровые культуры повреждаются этой засухой больше, чем озимые, имеющие уже хорошо развитую корневую систему. Продолжительная засуха весной существенно снижает конечный урожай культур даже при условии благоприятного по увлажнению лета.

При *летней засухе* наблюдаются высокая температура воздуха, низкая относительная влажность его и, как следствие, сильное испарение. Резкое нарушение водного питания снижает прирост вегетативной массы, вызывает засыхание листьев, снижает фотосинтетическую деятельность растений, обуславливает щуплость зерна, приостанавливает прирост клубней и корнеплодов, способствует опадению завязи и плодов в садах. Последствия летней засухи

обычно более тяжелые, чем весенней, так как помимо резкого снижения урожая культур ухудшается качество выращенной продукции.

*Осенняя засуха* возникает на фоне пониженных температур и влажности воздуха. Она наступает после уборки зерновых и в период окончания вегетации пропашных и некоторых других культур. Отрицательное действие осенней засухи испытывают главным образом озимые культуры посева текущего года. Из-за сухости верхних слоев почвы семена долго не прорастают и всходы появляются с запозданием. Растения не успевают укорениться, пройти фазу кущения и нередко погибают в зимний период. В отдельные засушливые осенние периоды, когда пахотный горизонт не имеет необходимых запасов продуктивной влаги, посев озимых зерновых вообще нецелесообразен.

Значительно может снизиться урожай будущего года и у плодово-ягодных культур — из-за недостатка влаги у них уменьшается закладка цветочных и плодовых почек.

По данным А.В. Процера, на европейской части России повторяемость весенних засух составляет 42%, летних — 33, осенних — 25%.

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

**Агрометеорологические показатели засух и суховеев.** Для сравнения интенсивности засух и суховеев в различных районах и в разные годы в целях разработки мер защиты от этих явлений необходимы количественные критерии.

Еще В.В. Докучаев для характеристики засушливости района сопоставлял осадки с испаряемостью. В дальнейшем эту идею, нашедшую широкое признание, развивали многие ученые.

В.Г. Нестеров предложил определять засушливость по особому гидротермическому показателю:

$$K_H = \Sigma(td), \quad (12.1)$$

где  $t$  — температура воздуха в 13 ч, °С;  $d$  — дефицит влажности воздуха в 13 ч, гПа.

Показатель  $K_H$  вычисляют по данным в день последнего дождя. Засуха начинается, когда гидротермический показатель достигает 4000 °С · гПа.

Для определения начала засухи Н.В. Бова разработал показатель засушливости:

$$K_B = \frac{10(W_{\text{ур}} + r)}{\Sigma t}, \quad (12.2)$$

где  $W_{\text{пр}}$  — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см весной, мм;  $r$  — количество осадков, выпавших с весны до момента расчета (до наступления засухи), мм;  $\Sigma t$  — сумма температур от даты перехода температуры воздуха через 0 °С весной до наступления засухи, °С.

Началом засухи принято считать период, когда  $K_{\text{в}}$  уменьшается до 1,5 мм/°С. При этом значении  $K_{\text{в}}$  начинается повреждение засухой яровой пшеницы на юго-востоке европейской части России.

При пользовании формулой Н.В. Бовы необходимо учитывать, что корневая система растений в первую половину вегетации развита недостаточно, поэтому в указанный период следует брать не весь запас влаги в почве, а лишь 65...70% общего. К недостаткам этой формулы следует отнести то, что она не учитывает степень увлажнения пахотного горизонта.

Характеристикой засух для юго-восточных районов европейской части России (ЕЧР) может служить гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Оценка засушливости по ГТК 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

Однако ГТК не всегда может быть надежным критерием степени засушливости, так как он не учитывает запасы влаги в почве.

Для оценки общих засух (атмосферных и почвенных) Е.С. Уланова предложила использовать коэффициент увлажнения:

$$K_{\text{у}} = \frac{W_{\text{пр}} + r_{05...06}}{0,01\Sigma t_{05...06}}, \quad (12.3)$$

где  $W_{\text{пр}}$  — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см во время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С весной, мм;  $r_{05...06}$  — сумма осадков за май—июнь, мм;  $\Sigma t_{05...06}$  — сумма средних суточных температур воздуха за май—июнь, °С.

Различной степени засухи соответствуют такие коэффициенты увлажнения:  $K_{\text{у}} < 15$  — очень сильная засуха,  $15 \leq K_{\text{у}} < 20$  — сильная засуха;  $20 \leq K_{\text{у}} < 25$  — средняя засуха.

Интенсивность атмосферной засухи можно определить по сочетанию максимальной температуры и дефицита влажности воздуха (табл. 12.2).

Некоторые авторы считают, что надежным показателем интенсивности засухи является снижение урожая по сравнению со средним многолетним значением. А.В. Процеров предложил следующие показатели засухи: очень сильная — снижение урожая более 50%, сильная — снижение урожая от 20 до 50%, слабая — снижение урожая на 20%.

Таблица 12.2

**Агрометеорологические показатели атмосферных засух (по В.М. Пасову)**

<i>Засуха</i>	<i>Максимальная температура воздуха, °С</i>	<i>Дефицит влажности воздуха в 13 ч, г/га</i>
Средняя	≤ 30	27...52
	31...35	27...40
Интенсивная	31...35	41...52
	36...40	27...52
Очень интенсивная	36...40	53...60
	≥ 40	> 27

А.М. Алпатьев рекомендует к засушливым годам относить те, при которых снижение урожая составило более 25% от среднего многолетнего значения. Снижение урожая до 25%, по его мнению, возможно вследствие действия других причин: отступления в агротехнике, разницы сортов и т.д.

Известно, что наиболее надежный показатель засухи — данные о влажности почвы в корнеобитаемых горизонтах.

По данным М.С. Кулика, снижение запасов продуктивной влаги в пахотном слое до 10...19 мм следует считать началом засушливого периода, при запасах менее 10 мм начинается засуха. Декады, в течение которых запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...20 см оказываются < 20 мм, относятся к засушливым, а декады с запасами влаги < 10 мм — к сухим. Три сухие декады в период «кущение — молочная спелость» — признак засухи, четыре—пять декад — признак сильной засухи. Если три сухие декады начались при запасах продуктивной влаги < 60 мм в слое 0...100 см, то считают, что засуха сильная, а четыре—пять сухих декад — очень сильная, и урожай снижается на 70...80% среднего многолетнего для данного района.

В последние годы К.Е. Зоидзе и его сотрудниками разработана автоматизированная оперативная система оценки засух (АОСОЗ). Она базируется на сочетании уникального опыта России по разработке физически обоснованных показателей для описания интенсивности засух и суховеев с современными научно-техническими знаниями, возможностями информационного обеспечения и вычислительных технологий. АОСОЗ впервые в мировой практике пре-



дусматривает регулярную (ежедекадную) комплексную оценку развития засухи различной интенсивности с учетом основных ее составляющих (атмосферной, почвенной) и выдачу обобщенного результата по пунктам наблюдения. На основе этих данных возможна подготовка разнообразной информации, в частности:

- табличных материалов с категориями засух (от слабых до очень сильных) и подекадной динамикой (%) территории, охваченной засухами различной интенсивности за любой период;
- серии картосхем с комплексной оценкой развития засух по декадам, с выделением зон с засухами различной интенсивности (рис. 12.1).

Оценка засух осуществляется в оперативном режиме на компьютере.

Повреждение посевов суховеями также в значительной степени зависит от интенсивности и продолжительности этого явления.

Усиливающим фактором в суховеинном комплексе является скорость ветра, так как даже умеренный ветер (3...7 м/с) непрерывно продувает травостой и усиливает воздухообмен среди растений, следовательно, увеличивает расход влаги посевами. Высокая испаряемость при очень интенсивных суховеях обуславливает суммарное испарение более 8 мм в сутки, что равноценно расходу воды 80 т с 1 га.

Большое значение при суховеях имеют запасы почвенной влаги. При достаточных запасах влаги в корнеобитаемых горизонтах почв растения, поврежденные дневным суховеем, успевают восстанавливать тургор листьев в ночные часы.

Работы Е.А. Цубербиллер показали, что причина повреждений от суховеев та же, что и при засухе, — несоответствие между фактическим и оптимальным водопотреблением растений, которое во время суховеев переходит через некоторый допустимый для растений предел. В качестве показателя интенсивности суховеев и повреждения растений она использует эвапорометрический коэффициент ( $K_z$ ) А.А. Скворцова, который выражает отношение фактического испарения с естественной поверхности поля к испарению с водной поверхности (табл. 12.3).

При нормальном развитии зерновых культур значение  $K_z$  в дневные часы сохраняется в пределах 0,8...1,5.

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

**Повторяемость засух и суховеев на территории России.** Засухи в основных земледельческих районах России наиболее часто повторяются: 50...60% лет в Центрально-Черноземных областях и 60...85% лет на Северном Кавказе и в Поволжье. Это значит, что в этих районах явления засухи в той или иной степени повторяются каждые 5...9 лет из 10, что ограничивает получение здесь высоких урожаев без орошения. Для большей части Нечерноземной зоны засухи наблюдаются в среднем 1 год из 10 и реже (рис. 12.2).

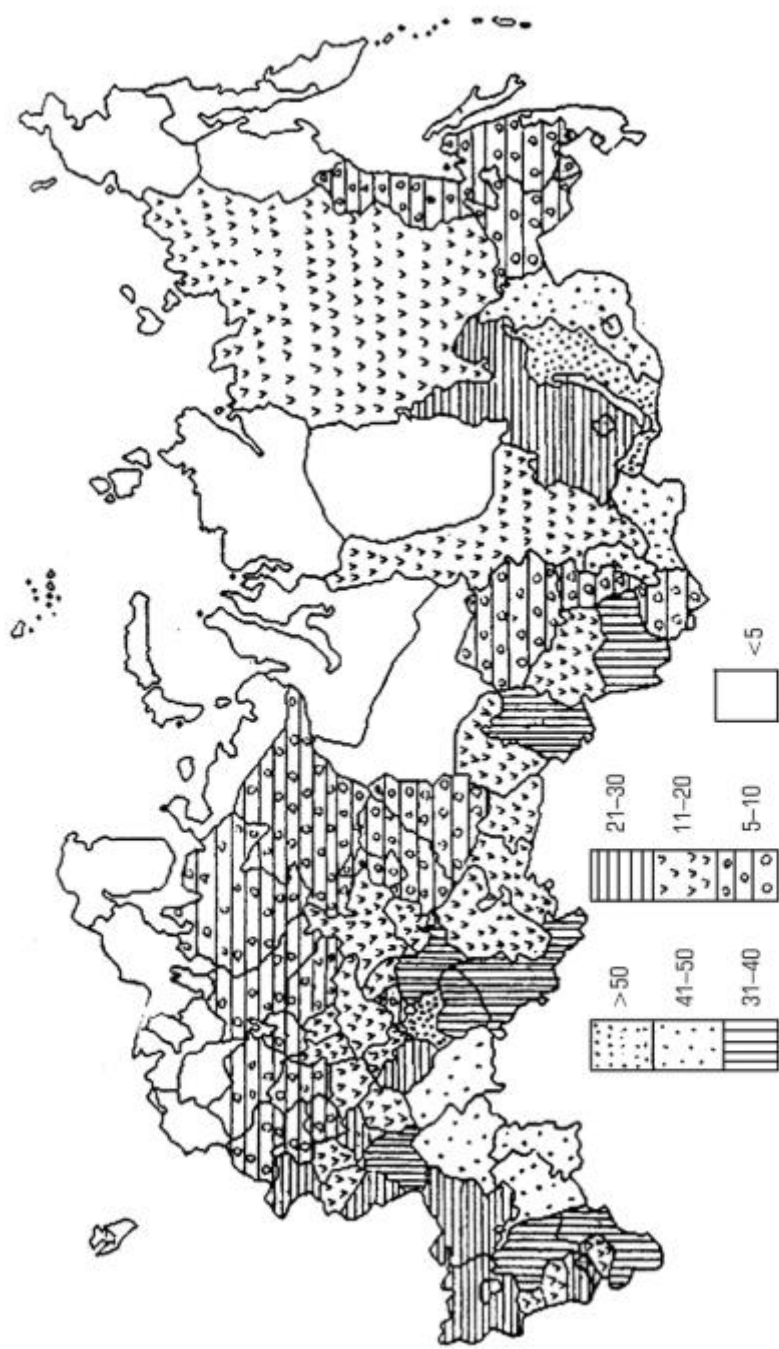


Рис. 12.1. Осредненная вероятность (%) почвенной засухи в слое 0...20 см (запасы продуктивной влаги  $\leq 20$  мм) на дату посева основных сельскохозяйственных культур (озимых, ранних яровых и поздних яровых зерновых) по субъектам РФ

Таблица 12.3  
**Агрометеорологические показатели суховея и степень повреждения ими зерновых культур (по Е.А. Цубербиллер)**

Суховей	Испаряемость, мм/сут.	Дефицит насыщения водяного пара (гПа) в 13 ч при скорости ветра, м/с		Запасы продуктивной влаги (мм) в различных слоях, см			Эвапориметрический коэффициент $K_3$	Характеристика степени повреждения растений
		<10	≥10	0...20	0...50	0...100		
Слабые	3...5	20...32	13...27	≤20	≤50	≤80	0,5...0,4	Легкое снижение тургора
Средней интенсивности	5...6	33...39	28...32	≤10	≤30	≤50	0,3	Значительное снижение тургора листьев, их скручивание, пожелтение, подсыхание. Захват зерна через 3...5 сут.
Интенсивные	6...8	40...52	33...45	≤10	-	≤30	0,2...0,1	Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зерна через 2...3 сут.
Очень интенсивные	>8	≥53	>46	0	-	≤30	0,2...0,1	Быстрое и сильное повреждение вегетативной массы, захват зерна через 1...2 сут.

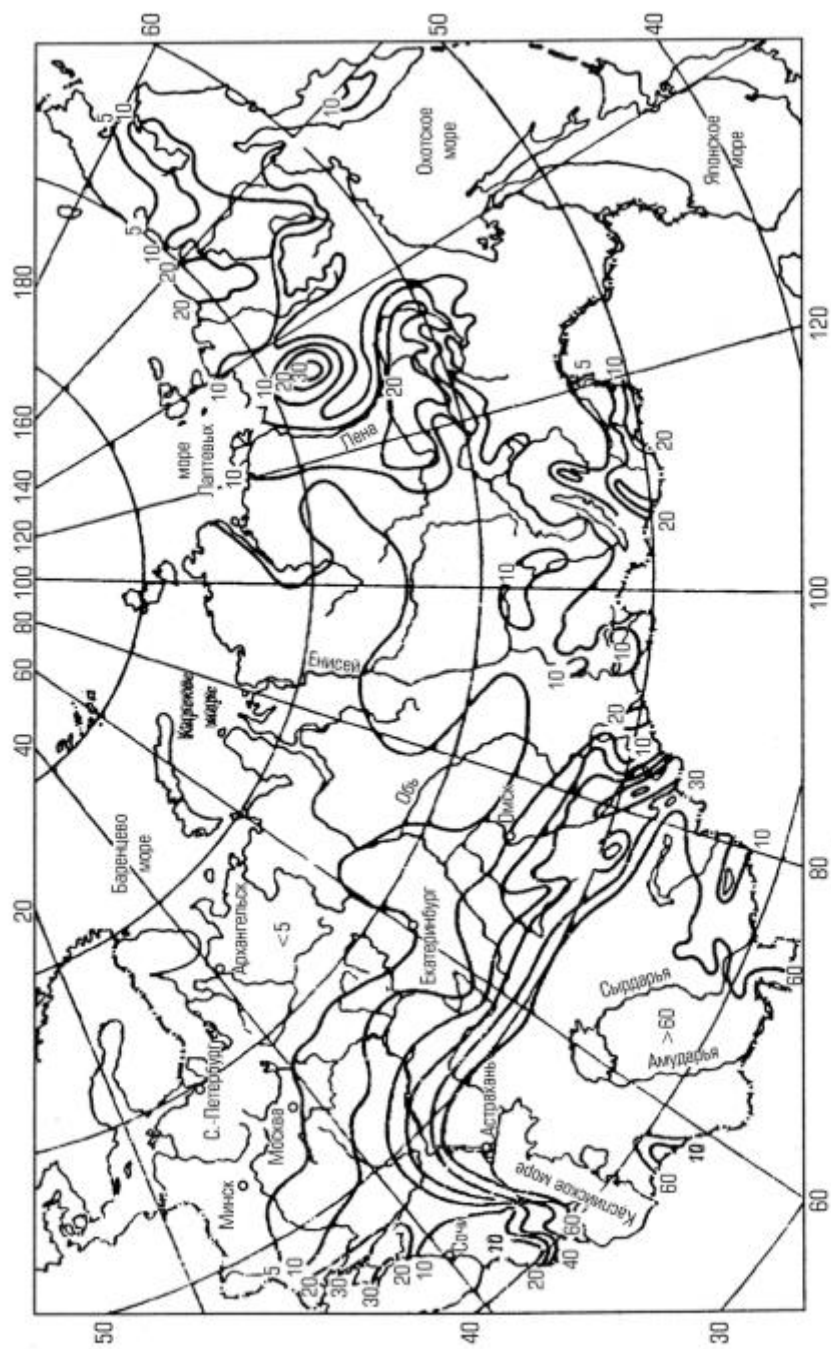


Рис. 12.2. Вероятность засух (по Н.И. Смицкой, И.А. Гольцберг и др.), % лет

Суховеи на юго-востоке европейской части России можно наблюдать с апреля по сентябрь. Повторяемость их особенно велика на Прикаспийской низменности. В районе Саратов — Астрахань за этот период бывает 40...80 сут. с суховеями.

Очень интенсивные суховеи с дефицитом насыщения водяным паром в 13 ч более 50 гПа в степной зоне наблюдаются в 15...40% лет, т.е. 1,5...4 раза в 10 лет. Северная граница возможного распространения таких суховеев (по Е.А. Цубербиллер) проходит по линии Воронеж — Саратов — Омск и далее по Кулундинской степи.

Число суховейных дней, когда недостаток насыщения водяного пара превышает 40 гПа, в степной зоне составляет в среднем 1...3 в году, увеличиваясь в отдельные годы до 15...25 сут., в лесной зоне — 1...2 сут. в 10 лет.

Слабые суховеи с дефицитом насыщения водяного пара в дневные часы 20...30 гПа наблюдаются в лесной зоне в среднем 2...3 сут. в году на северо-западе европейской части России и 10...15 сут. на юге сибирской тайги. В лесостепной зоне среднее многолетнее число дней со слабыми суховеями колеблется от 14 на западе до 30 на востоке, а в степной зоне — соответственно от 30 до 60.

Вероятность возможного числа дней с суховеем в данном районе можно определить по номограмме, зная среднее многолетнее число дней с суховеем (рис. 12.3).

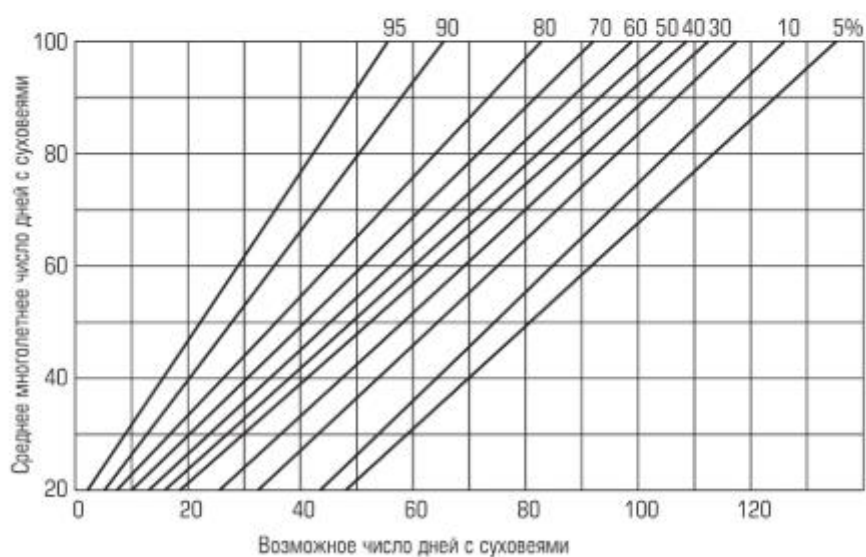


Рис. 12.3. Номограмма суммарной вероятности возможного числа дней с суховеями в зависимости от средних многолетних значений за период апрель—октябрь (по В.А. Сенникову и Л.Е. Пасечнюк)

**Меры защиты от засух и суховеев.** Необходимо отметить, что растения в какой-то степени сами борются с неблагоприятными явлениями, в частности, регулируя свой водный баланс. Одни растения уменьшают скорость транспирации путем регуляторной «работы» устьиц, что является приспособлением к атмосферной засухе, другие регулируют процесс поглощения воды из почвы, т.е. приспосабливаются к почвенной засухе.

В практике сельскохозяйственного производства применяют разные способы защиты от засух и суховеев. Все они направлены на устранение или снижение несоответствия между потребностью растения во влаге и фактической влагообеспеченностью посевов с помощью обработки почвы, орошения, снегозадержания, накопления талых вод, полезащитного лесоразведения, варьирования сроков сева сельскохозяйственных культур, мульчирования почвы и т.д.

Далее приведена урожайность зерна овса в зависимости от различных влагонакопительных приемов (по М.С. Кулику):

<b>Агротехнические влагонакопительные приемы</b>	<b>Урожайность зерна, т/га</b>
Зяблевая вспашка поперек склона	1,65
Зяблевая вспашка плюс снегозадержание	1,98
Зяблевая вспашка плюс снегозадержание плюс задержание талых вод	2,45
Зяблевая вспашка плюс снегозадержание плюс задержание талых вод плюс минеральные удобрения	2,67

Установлено, что засухоустойчивость растений является свойством, которое можно изменить. Подсушивание предварительно намоченных перед посевом семян вызывает значительные изменения в коллоидно-химическом состоянии клеток. В дальнейшем оно проявляется в виде повышенной засухоустойчивости растений.

На засухоустойчивость влияют удобрения: калийные и фосфорные повышают ее, азотные, особенно в больших дозах, снижают. Засухоустойчивость ряда сельскохозяйственных культур повышают микроэлементы (цинк, медь и др.).

Устойчивости к засухе в полевых условиях способствует выращивание сельскохозяйственных культур с соблюдением зональных технологий их возделывания.

К эффективным мерам относятся создание засухоустойчивых сортов сельскохозяйственных культур, размещение их посевов с учетом агро- и микроклиматических особенностей.

Таким образом, повышение общей культуры земледелия, включающее успехи селекционно-генетической работы, применение агротехнических приемов по задержанию, накоплению, сохранению

и рациональному использованию запасов почвенной влаги, является эффективным средством защиты растений от засухи и суховеев.

### 12.1.2. Ветровая эрозия почв

К числу неблагоприятных гидрометеорологических явлений относится и *ветровая эрозия*, или *дефляция*, почвы — процесс разрушения и перемещения частиц почвы ветром. Она возникает под влиянием как природных, так и антропогенных факторов и нередко связана с формами земледелия, не соответствующими данной климатической зоне. Интенсивность дефляции зависит от скорости ветра, размера частиц и их связности.

Ветер — основной фактор развития дефляции. Как отмечалось ранее (см. гл. 4), в приземном слое движение воздуха всегда имеет турбулентный (вихревой) характер. Это приводит к пульсации скорости: за секунды она может меняться в пределах 20...25% среднего значения, что существенно влияет на развитие эрозии. Критическими скоростями ветра на высоте 15 см считают, м/с: для песчаных и супесчаных почв — 3...4, суглинистых — 4...7, торфяных — 4...5.

Наиболее сильному выдуванию подвержены легкие по гранулометрическому составу, менее связанные почвы — песчаные, супесчаные, легкосуглинистые.

На степень эрозионных процессов оказывает влияние рельеф территории. Выдуванию больше подвержены верхние и наветренные части склонов, при этом чем круче склон, тем сильнее разрушение почвы.

Немаловажное значение имеет и микрорельеф местности: над выровненной поверхностью поля скорость ветра на 30...40% выше, чем над невыровненной, грубо взрыхленной.

В степной, полупустынной и пустынной зонах дефляция почвы нередко принимает катастрофические размеры. Сильные ветры поднимают (иногда до 1,5...2 км) с поверхности огромное количество почвенных частиц и переносят эту массу на большие расстояния. Это явление называют *пыльными бурями*. Так, в 1960 г. из районов Северного Кавказа и Украины почвенная пыль была занесена в Румынию, Болгарию и Югославию, видимость ухудшалась в Белоруссии и Прибалтике.

При переносе пыли происходит ее сортировка, так как крупные частицы оседают быстрее. Они откладываются в понижениях рельефа или у различных препятствий — строений лесных полос или других насаждений (рис. 12.4). Например, по данным И.В. Свисюка, в 1960 г. в Ростовской области во время пыльных бурь лесными полосами было задержано от 5 до 30 м<sup>3</sup> мелкозема на 1 м полосы. Высота этих отложений варьировала от 0,5 до 3 м в зависимости от ажурности лесополосы. При этом с потерей каждого сантиметра слоя почвы с 1 га терялось около 30 кг азота и калия, 20 кг фосфора и 2...3 т гумуса.



Рис. 12.4. Земляные заносы после пыльной бури

В отдельных случаях на открытых полях зяби снос почвы может достигать более 100 т/га за сутки.

Если вспомнить, что для восстановления 1 см почвы в естественных условиях требуется 250...300 лет, то следует признать, что ветровая эрозия наносит почвенному покрову невосполнимые потери.

Наряду с выдуванием в период ветровой эрозии происходит засекание растений. В результате на поле остаются остатки стеблей с поврежденными листьями или совсем без них, часть растений просто вырывается с корнем.

Пыльные бури чаще всего возникают весной, когда ветер усиливается, а поля находятся в распаханном состоянии и растительность на них еще слабо развита. Бывают пыльные бури в степной зоне и в конце лета, когда почва пересыхает, а поля после уборки ранних яровых начинают распахать. Зимние пыльные бури — явление сравнительно редкое.

На территории юга России среднее многолетнее число дней с пыльными бурями увеличивается в направлении с запада от 1...5 дней в году (Саратовская область, Северный Кавказ) до 15...20 дней на востоке (Новосибирская область, Алтайский край) (рис. 12.5).

Противоэрозионной устойчивости почвы достигают, применяя рациональные приемы обработки, внося минеральные и главным образом органические удобрения, сея травы, опрыскивая поверхность почвы различными структурообразователями.



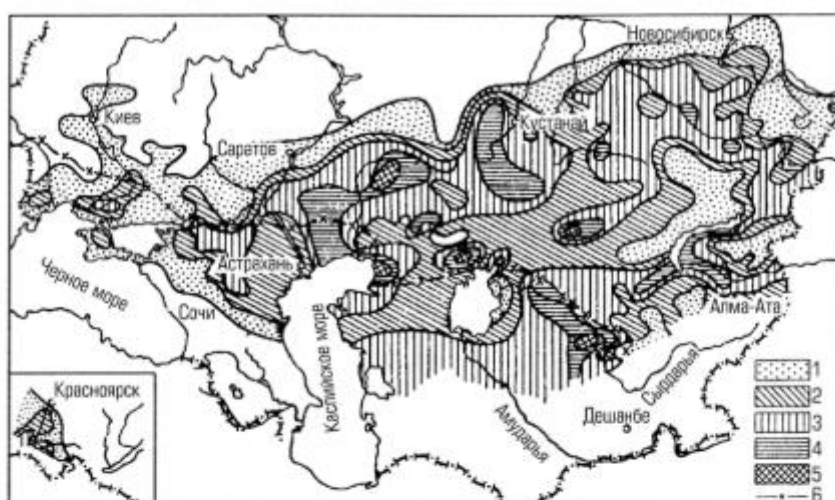


Рис. 12.5. Среднее многолетнее число дней с пыльными бурями (по Ю.И. Чиркову):  
 1 — 1...5; 2 — 6...10; 3 — 11...20; 4 — 20...40; 5 — > 40; 6 — граница устойчивого снежного покрова

Одна из главных задач защиты почвы от ветровой эрозии — создание к периоду наступления пыльных бурь возможно более мощного растительного покрова. Поэтому посев озимых культур в оптимальные сроки обеспечивает хорошее развитие и укоренение растений к моменту возможного возникновения пыльных бурь, что обуславливает сохранение посевов и предохранение почвы от действия ветровой эрозии. В тех случаях, когда наносы небольшие, а растения хорошо развиты, они пробиваются наружу, образуя в наносах новые узлы кушения. Состояние пострадавших растений можно улучшить боронованием. Если же толщина земляного покрова превышает 5 см, то слаборазвитые растения гибнут и культуру пересевают.

В районах распространения пыльных бурь, а в засушливые годы повсеместно хороший эффект дает бороздковый посев, при котором семена заделывают в бороздки на глубину до 11...14 см. При таком посеве даже в засушливые годы семена попадают в более влажные слои почвы, что способствует быстрому и дружному появлению всходов. Снег, задерживаемый в бороздках, предохраняет растения от выдувания и вымерзания, а главное — благодаря мелковолнистой поверхности почвы снижается скорость ветра в приземном слое воздуха и уменьшается перекачивание комочков почвы. Урожайность зерновых культур при таком методе посева повышается в среднем на 15...20%.

Широкое распространение получили кулисные пары, где высокостебельные растения (кукуруза, подсолнечник и др.) располагают перпендикулярно к эрозионно опасным ветрам.

Для защиты почвы от ветровой эрозии также высаживают полосами поперек господствующего направления ветра древесно-кустарниковые формы. Полезащитные лесные полосы уменьшают скорость ветра, способствуют накоплению снега в зимний период, значительно улучшая влагообеспеченность посевов. Даже стерня, оставленная на поле, уменьшает скорость ветра у поверхности почвы. На этом эффекте основана система безотвальной обработки почвы, получившая широкое распространение в южных районах Сибири и позволившая сократить потери плодородного слоя от ветровой эрозии.

Все эти меры способствуют сохранению ценнейшего национального богатства — земельного фонда, предупреждают возможность проявления процессов эрозии и способствуют локализации уже протекающей эрозии.

### 12.1.3. Град и причины его возникновения

Град образуется в теплое время года, когда при сильной тепловой конвекции (восходящие движения воздуха со скоростью 15...20 м/с в средней части облака) развиваются мощные внутримассовые или фронтальные кучево-дождевые облака (до 12 км и более в высоту). В таких облаках возникает зона повышенной водности (20...30 г/м<sup>3</sup>).

Крупные капли, поднятые восходящими потоками воздуха в верхнюю часть облака, замерзают и образуют зародыши градин, которые быстро растут, так как сливаются с другими переохлажденными каплями, поступающими с восходящими потоками воздуха. Ту часть облака, где происходит основной рост града, называют *градовым очагом*.

Градины растут до тех пор, пока скорость их падения не превысит максимальную скорость восходящего потока, после чего они падают. Процесс выпадения града развивается лавинообразно.

Обычно градины имеют сферическую или эллипсоидальную форму и размер до 6...8 мм, иногда и больше. В очень редких случаях градины выпадают в виде кусков льда массой 500 г и более.

Град выпадает полосами. Часто ширина градовой полосы составляет 3...5 км, а длина — 15...20 км. В отдельных случаях градобитием бывают охвачены площади шириной до 20 км и длиной до 100...200 км. Продолжительность выпадения града в отдельном пункте колеблется от нескольких секунд до одного часа, составляя в основном 5...10 мин. Выпадение града иногда может дать на земной поверхности покров высотой до 20...30 см. Град всегда наблюдается при грозе, обычно вместе с ливневым дождем.

Зоны наиболее опасных и частых градобитий в России находятся в предгорных и горных районах Северного Кавказа, где в летние жаркие дни возникают особенно мощные восходящие потоки за счет большой неравномерности в нагревании различных форм рельефа, а также за счет горно-долинной циркуляции воздуха. Ежегодно это явление наблюдается в Ставропольском и Краснодарском краях. Вообще наиболее часто град выпадает в умеренных широтах, а наиболее интенсивен он в тропиках.

Град наносит серьезные повреждения посевам и насаждениям, иногда полностью уничтожая их.

**Защита посевов от градобитий.** Ежегодно в мире ущерб от градобитий составляет около 2 млрд долл. Большая часть этого ущерба приходится на сельское хозяйство. Поэтому во многих странах разрабатывают и применяют различные способы воздействия на градовые процессы с целью уменьшения ущерба от градобитий.

В южных районах нашей страны посевам и насаждениям защищают, активно воздействуя на градовые облака.

Основа метода активного воздействия — предотвращение процесса образования крупных градин путем засева градовых облаков льдообразующими реагентами (твердая углекислота, йодистое серебро, йодистый свинец). Внесенный реагент способствует созданию огромного числа дополнительных ядер конденсации (кристаллизации) — из 1 г реагента получается около  $10^{12}$  ядер, на которых происходит сублимация водяного пара. Перераспределение влаги между всеми зародышами градин препятствует образованию крупных градин, а мелкие тают в нижних слоях воздуха, и осадки выпадают в виде дождя. Реагент, помещенный в снаряды и ракеты, доставляют в ту часть облака, где образовался градовый очаг. Положение очага определяют с помощью радиолокатора.

Для защиты сельскохозяйственных культур от градобитий применяют зенитные пушки или противоградовые комплексы «Облако-М», ПГИ-М, «Алазань-2М». При этом убытки от града на защищаемой территории уменьшаются на 70...80%.

#### **12.1.4. Сильные ливневые дожди**

Ливневые дожди, как и град, выпадают из кучево-дождевых облаков, поэтому они охватывают сравнительно небольшие площади. Тем не менее эти дожди за сутки могут дать 80...100 мм осадков и более и нанести существенный ущерб сельскохозяйственному производству.

Интенсивные ливневые дожди, сопровождаемые сильным ветром, на европейской части России часто вызывают стеблевое полежание зерновых культур на 20...30% посевных площадей, а в отдельные годы — на 80%. Полежание посевов приводит к нарушению

распределения биомассы по вертикальному профилю и изменению фитометеорологических условий. Согласно наблюдениям А.Д. Пасечнюка в полегших посевах максимум биомассы смещается к поверхности почвы, а колосья располагаются во всех слоях посева. Объемная плотность зеленой биомассы полегших посевов в несколько раз превышает плотность нормальных, что снижает турбулентный обмен, ухудшает равномерность распределения солнечной радиации в травостое и в конечном счете уменьшает продуктивность фотосинтеза. Проникающая в нижние слои полегших посевов радиация в 2...4 раза меньше, чем в неполегающих.

При полегании ухудшается налив зерна, оно получается щуплым, с меньшим содержанием крахмала, повышенной влажности, с низкой всхожестью. Полегание растений затрудняет механизацию уборки и увеличивает потери урожая.

Ливневые дожди или длительные обложные осадки могут вызывать стекание и прорастание зерна, способствуют развитию болезней сельскохозяйственных культур. Из-за переувлажнения почвы могут сложиться тяжелые условия для уборки зерновых и технических культур. Сильные ливни вымывают питательные вещества из верхних горизонтов в нижележащие слои почвы. Например, вымывание калия приводит к ослаблению процесса крахмалообразования в клубнях картофеля. Отсюда — снижение лежкоспособности картофеля, клубни часто темнеют.

Сильные ливневые осадки обычно не успевают впитываться в почву, и большая часть их стекает, смывая верхние плодородные слои почвы, вызывая водную эрозию, образование оврагов. При этом питательные вещества смываются в водоемы. Сюда же попадают и минеральные удобрения и пестициды.

В горных районах водная эрозия сильнее, чем на равнинах. На интенсивность эрозионных процессов влияют не только природные факторы, но и вырубка лесов на склонах, распашка крутых склонов, пахота вдоль склонов, нерациональное использование пастбищ. Водной эрозии подвержены территории Среднерусской и Ставропольской возвышенностей, Центрально-Черноземного района (Воронежская, Белгородская, Липецкая области).

Основные меры защиты от водной эрозии следующие:

- размещение сельскохозяйственных культур с учетом их почвозащитной способности (на малоопасных участках — пропашные культуры, на более эрозионно опасных полях — многолетние травы, зернобобовые, пожнивные, плодовые культуры);
- обработка почвы и посев культур поперек склонов, т.е. перпендикулярно к стоку воды;
- лесонасаждение и оврагоукрепление;

- преобразование эрозионно опасных форм рельефа — террасирование, т.е. создание ступенчатых террас, что давно применяют в горном земледелии.

К профилактическим мерам защиты от водной эрозии относится сохранение лесов и травяного покрова на эрозионно опасных участках.

#### 12.1.5. Заморозки

*Заморозки* — понижение температуры воздуха или деятельной поверхности до 0 °С и ниже на фоне положительных среднесуточных температур. Различные по интенсивности заморозки ежегодно наблюдаются во всех районах сельскохозяйственной зоны России, часто ограничивая использование климатических ресурсов вегетационного периода в сельскохозяйственном производстве. Необходимо отметить, что заморозки возможны и в субтропических районах, где зимние морозы носят характер заморозков умеренного пояса. В результате только плодово-ягодные культуры каждый год повреждаются заморозками на площади 120...140 тыс. га.

Заморозки в зависимости от времени наступления и интенсивности могут частично или существенно повредить сельскохозяйственные культуры, уменьшить или полностью уничтожить урожай. Наиболее опасны поздние весенние и ранние осенние заморозки, когда их сроки совпадают с периодом вегетации сельскохозяйственных культур. Поэтому информацию об интенсивности заморозков, о сроках прекращения их весной и возникновения осенью широко используют для оценки заморозкоопасности территорий при размещении теплолюбивых культур, а также при выборе способов защиты от этого стихийного явления.

По интенсивности заморозки делят на слабые, средние и сильные. *Слабыми* принято считать заморозки, при которых температура деятельной поверхности не опускается ниже -2 °С (при этом в воздухе часто температура выше 0 °С). При *средних* заморозках температура снижается до -3...-4 °С и заморозок охватывает нижние слои воздуха; *сильные* заморозки — -5 °С и ниже.

По длительности действия заморозки делят на *продолжительные* (более 12 ч), *средней продолжительности* (5...12 ч) и *кратковременные* (до 5 ч).

Внешним проявлением заморозка является образование инея на почве или растениях.

**Типы заморозков и условия их возникновения.** По характеру процессов, способствующих возникновению заморозков и сопровождающих их погодных условий, различают три типа заморозков.

*Адвективные заморозки* возникают вследствие вторжения холодной массы воздуха температурой ниже 0 °С. При этом типе замороз-

ков отрицательные температуры наблюдаются не только в приземном слое воздуха, но и выше. Адвективные заморозки могут продолжаться несколько суток подряд, охватывать большие территории и сопровождаться облачной и ветреной погодой. При таких заморозках амплитуда суточного хода температуры воздуха невелика, прогревание холодной массы воздуха часто продолжается 3...4 сут., к концу этого периода температура постепенно повышается. В умеренной зоне они возникают обычно ранней весной и поздней осенью, когда большинство сельскохозяйственных культур еще или уже не вегетируют, и поэтому эти заморозки наименее опасны.

*Радиационные заморозки* образуются в ясные тихие ночи в результате интенсивного ночного излучения подстилающей поверхности. Такая погода обычно наблюдается во внутренних частях областей высокого атмосферного давления — антициклонах и гребнях повышенного давления. Их можно наблюдать в течение нескольких ночей подряд. При этом в приземном слое воздуха образуется инверсия температуры. Разность температур в метеорологической будке на высоте 2 м и на поверхности почвы или сомкнутого травостоя составляет в среднем 2,5...3,0 °С, а в континентальных районах Сибири — 4,0...4,5 °С. На осушенных торфяных болотах и в замкнутых котловинах в отдельных случаях эта разность может достигать 9...10 °С.

Радиационные заморозки более опасны для сельскохозяйственных растений, так как в западных районах России весной они прекращаются при средних суточных температурах воздуха около 5...6 °С, а в континентальных районах Сибири — при средней суточной температуре 10...13 °С, т.е. когда некоторые культуры уже начали активно вегетировать.

*Адвективно-радиационные (смешанные) заморозки* образуются при вторжении относительно холодной воздушной массы и последующего ее выхолаживания за счет ночного излучения. Этот тип заморозков наблюдается в конце весны и начале лета, а также ранней осенью, и они наиболее опасны для сельскохозяйственных культур. Интенсивность адвективно-радиационных заморозков, как правило, невелика (–2...–3 °С). Эти заморозки возможны обычно в ночные часы, главным образом перед восходом Солнца, их продолжительность чаще всего 3...4 ч в течение нескольких ночей.

Иногда наблюдаются случаи, когда по данным метеостанции температуры воздуха (на высоте 2 м) и деятельной поверхности (оголенная почва) положительны, а на растениях отмечается иней. Это явление в агрометеорологии получило название «скрытый» заморозок, и обусловлено оно сильным эффективным излучением самих растений в период ночного похолодания.

Заморозки на поверхности почвы весной заканчиваются позже, а осенью начинаются раньше, чем в воздухе. Вследствие этого беззаморозковый период на почве на 20...30 сут. короче, чем в воздухе.

**Географическое распространение заморозков на территории России.** На обширной территории нашей страны время прекращения заморозков весной и наступления их осенью от года к году очень изменчиво.

Наибольшая вероятность весенних заморозков (до 6 лет из 10) отмечается как раз в основных сельскохозяйственных районах страны: ЕТС, юг Западной Сибири, Южный Урал (рис. 12.6, а). Осенние заморозки, опасные для сельхозкультур, в этих регионах случаются реже: от 1 до 3 раз в 10 лет (см. рис. 12.6, б).

Период между средней многолетней датой самых поздних весенних и средней многолетней датой самых ранних осенних заморозков называют *беззаморозковым периодом*.

В основной земледельческой зоне страны продолжительность беззаморозкового периода колеблется от 90 сут. на севере до 270 сут. на юге (рис. 12.7). На европейской части России средняя дата прекращения заморозков равномерно перемещается с юга на север от начала апреля до середины июня. Раньше всего заканчиваются заморозки на Черноморском побережье Кавказа, а беззаморозковый период здесь составляет около 300 сут. В Восточной Сибири заморозки весной прекращаются во второй половина мая — начале июня, а беззаморозковый период сравнительно короткий — 90...120 сут.

Осенние заморозки на юге страны начинаются в середине октября — начале ноября, а в северных районах земледельческой зоны европейской части России и в Восточной Сибири — в конце августа.

Заморозки заканчиваются и начинаются в различных районах земледельческой зоны России при разных среднесуточных температурах воздуха. Так, весной в западных районах страны заморозки обычно прекращаются до перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °С, и поэтому их опасность для плодовых и теплолюбивых культур незначительна. В континентальных районах заморозки отмечаются после установления среднесуточной температуры воздуха выше 10 °С, в период активной вегетации, поэтому здесь они опасны для теплолюбивых культур.

В справочниках по агроклиматическим ресурсам характеристика средних дат заморозков дополнена сведениями о самом позднем заморозке весной и самом раннем осенью, наименьшей длительности беззаморозкового периода, а также данными о вероятности окончания или начала заморозка ранее или позднее заданной даты. Используя эти данные, в каждом районе можно определить оптимальные сроки сева теплолюбивых культур, высадки рассады овощных, а также сроки уборки сельскохозяйственных культур.

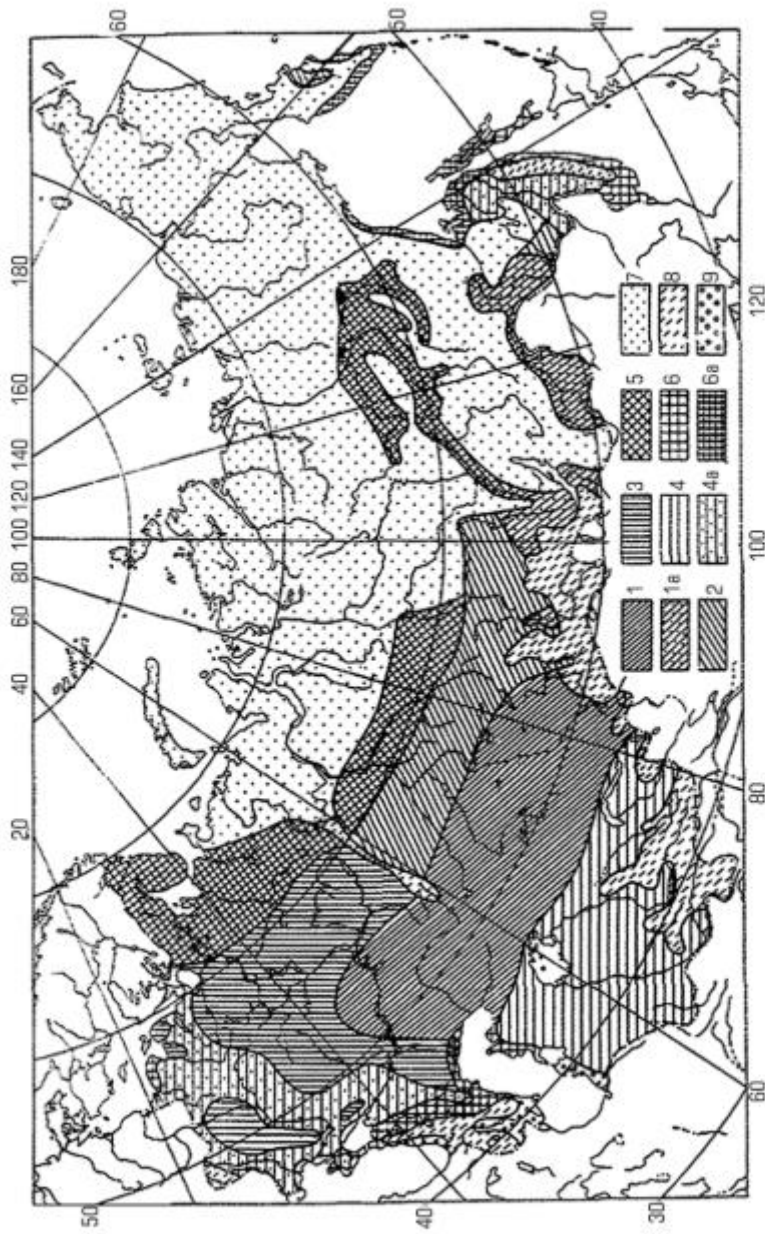


Рис. 12.6. а. Вероятность опасных заморозков. Весна (по И.А. Голыцберг). Из 10 лет:

1 и 1а — от 5 до 6; 2 — от 4 до 5; 3 — от 3 до 4; 4 и 4а — от 2 до 3; 5 — от 1 до 2; 6 и 6а — от 0 до 1; 7 — не опасны (короткая ночь, поздние всходы, на севере и в горах нет посевов); 8 — горные районы с очень сложным распределением заморозков (опасность не характеризуется); 9 — опасны зимой для субтропических культур



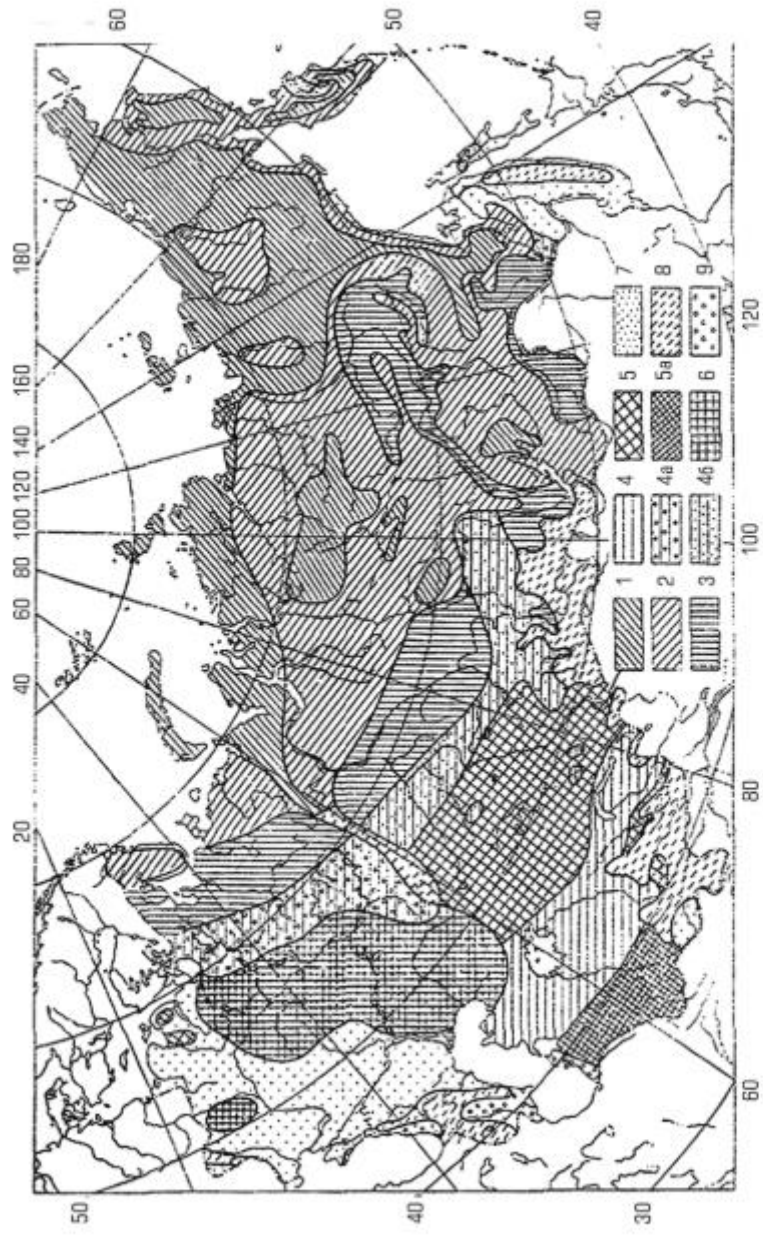


Рис. 12.б. б. Вероятность опасных заморозков. Осень (по И.А. Гольцберг). Из 10 лет.  
 1 — ежегодно (нет посевов); 2 — более 5 (опасны летом); 3 — от 3 до 4; 4, 4а и 4б — от 2 до 3; 5 и 5а — от 1 до 2; 6 и 6а — от 0 до 1;  
 7 — не опасны (позднее наступление заморозков); 8 — горные районы с очень сложным распределением заморозков (опасность не  
 характеризуется); 9 — опасны зимой для субтропических культур

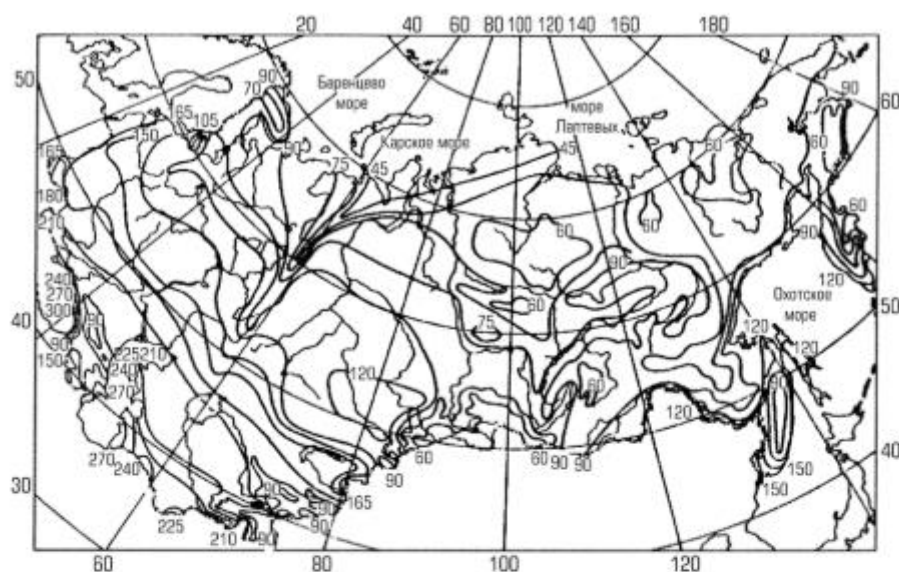


Рис. 12.7. Средняя многолетняя продолжительность (сут.) безморозкового периода в воздухе на открытом ровном месте (по И.А. Гольцберг)

**Влияние местоположения на интенсивность, сроки прекращения и наступления заморозков.** На интенсивность, сроки прекращения заморозков весной и наступления их осенью существенно влияют рельеф местности, состояние почвы, наличие растительности, близость водоемов и т.д.

При адвективных заморозках влияние местоположения проявляется меньше, чем при других типах заморозков, но все же наветренные склоны и участки, открытые холодным ветрам, оказываются более заморозкоопасными. При радиационных и адвективно-радиационных заморозках влияние местоположения гораздо значительнее.

Неровный рельеф местности обуславливает сток и приток холодного воздуха. Ночью на склонах в результате радиационного охлаждения прилегающих к деятельной поверхности слоев воздуха последний становится более тяжелым и «стекает» вниз. Поэтому в нижних частях склонов и в долинах, где сосредоточивается охлажденный воздух, значительно холоднее, чем в верхних частях склонов и на вершинах холмов. Особенно холодно в замкнутых котловинах. Здесь разность температур воздуха у поверхности почвы и на высоте 2 м может достигать 10 °С.

На больших ровных участках площадью в несколько квадратных километров и более создаются средние условия заморозкоопасности, поскольку здесь нет ни притока, ни стока охлажденного воздуха. По-

этому заморозкоопасность различных форм рельефа сопоставляют с открытыми ровными участками.

Разности температур на ровном открытом участке и в разных формах рельефа, а также изменение длительности беззаморозкового периода приведены в табл. 12.4. Как видно из таблицы, на выпуклых формах рельефа (вершины холмов, верхние части склонов) продолжительность периода больше, заморозки слабее, а в вогнутых формах рельефа (замкнутые долины, котловины), наоборот, продолжительность беззаморозкового периода уменьшается, интенсивность заморозков увеличивается по сравнению с открытым ровным местом. Менее заморозкоопасны по сравнению с ровным открытым пространством и побережья крупных водоемов.

Таблица 12.4

**Заморозкоопасность различных форм рельефа (по И.А. Гольцберг)**

Форма рельефа	Степень заморозкоопасности, баллы	Холодный воздух		Изменения по сравнению с равниной	
		Приток	Сток	минимальной температуры, °С	длительности беззаморозкового периода, сут.
Вершины, верхние и средние части крутых (больше 10°) склонов, $\Delta h > 50$ м	1	Нет	Хороший	3...5	15...25
Вершины и верхние части пологих (меньше 10°) склонов, $\Delta h < 50$ м	2	»	Есть	1...3	5...15
Долины больших рек, берега водоемов	2	Есть	»	2...4	10...20
Равнины, плоские вершины, дно широких открытых долин	3	Нет	Нет	0	0
Нижние части склонов и дно широких долин	4	Есть	Слабый	-3...-5	-15...-25
Дно и нижние части склонов нешироких, замкнутых долин	5	»	Почти нет	-3...-5	-15...-25
Котловины и замкнутые широкие плоские долины	5	»	Нет	-4 и более	-20 и более

*Примечание.* Положительные значения означают повышение минимальной температуры и увеличение продолжительности беззаморозкового периода по сравнению с открытым ровным местом, а отрицательные — усиление заморозка и уменьшение беззаморозкового периода.

На лесных опушках и полянах беззаморозковый период на 15...20 сут. меньше по сравнению с открытым ровным местом.

В то же время необходимо отметить, что при одинаковом местоположении на участках с рыхлой почвой, осушенных торфяниках интенсивность заморозков больше, а беззаморозковый период меньше из-за плохой теплопроводности и малой теплоемкости этих почв.

Косвенно на заморозкоопасность оказывает влияние также ориентация склонов. На восточных и юго-восточных склонах растения сильнее повреждаются заморозками потому, что после восхода Солнца они сразу попадают под действие прямых солнечных лучей. Резкий перепад температуры вызывает разрыв клеточных стенок. При этом вышедшая из клеток в межклетники вода быстро испаряется, поврежденные клетки не успевают восстановить дефицит влаги и высыхают, так как устьицы на некоторое время теряют способность закрываться.

**Влияние заморозков на сельскохозяйственные культуры.** Повреждение растений заморозками проявляется в нарушении обмена веществ и образовании кристаллов в протоплазме клеток. Устойчивость растений к заморозкам и степень их повреждения зависят от многих факторов: времени наступления, интенсивности и продолжительности заморозка, скорости и условий оттаивания растений, а также от состояния самих растений, их вида и сорта, фазы развития, условий выращивания и т.д.

Температуру, ниже которой растения повреждаются или гибнут, называют *критической*. Разным растениям свойственны свои критические температуры, морозостойкость различных органов одного и того же растения также неодинакова. В.Н. Степановым выделено пять групп полевых культур по их устойчивости к заморозкам в различные фазы развития растений при средней продолжительности заморозков 5...6 ч (табл. 12.5).

Из данных табл. 12.5 видно, что в начальный период роста растения наиболее устойчивы к заморозкам, за исключением двух последних групп. Слабые и даже сильные заморозки в этот период мало сказываются на их урожае. Заморозки в период цветения наиболее опасны, так как заморозкоустойчивость генеративных органов растений меньше, чем вегетативных. В этот период гибель урожая у большинства растений наступает при температуре  $-1...-3$  °С, т.е. при слабых заморозках.

Для плодовых и ягодных культур заморозки также наиболее опасны во время цветения и особенно в период образования завязей (табл. 12.6).

Степень заморозкоустойчивости цветков зависит еще и от погодных условий во время их раскрытия. Установлено, что если цветки растений раскрываются в прохладную погоду, то их критическая температура ниже, чем у распустившихся при высокой температуре. Например, цветки яблони, распустившиеся в прохладную погоду, гибнут при температуре воздуха  $-4$  °С, а цветки плодовых и ягодных кустарников и косточковых культур — даже при  $-5...-6$  °С.

Таблица 12.5

**Классификация сельскохозяйственных культур по их устойчивости к заморозкам в разные фазы развития (по В.Н. Степанову)**

Культура	Критическая температура начала повреждения и частичной гибели, °С		
	Всходы	Цветение	Созревание
<i>Наиболее устойчивые</i>			
Яровая пшеница	-9...-10	-1...-2	-2...-4
Овес	-8...-9	-1...-2	-2...-4
Ячмень	-7...-8	-1...-2	-2...-4
Чечевица	-7...-8	-2...-3	-2...-4
Горох	-7...-8	-3	-3...-4
<i>Устойчивые</i>			
Люпин многолетний	-6...-8	-3	-3
Вика яровая	-6...-7	-3	-2...-4
Люпин узколистный	-5...-6	-2...-3	-3
Бобы, подсолнечник	-5...-6	-2...-3	-2...-3
Лен	-5...-7	-1...-2	-2...-4
Сахарная свекла	-6...-7	-2...-3	-
Морковь, брюква, турнепс	-6...-7	-	-
<i>Среднеустойчивые</i>			
Люпин желтый	-4...-5	-2...-3	-
Соя	-3...-4	-2	-2...-3
Редис	-4...-5	-	-
Могар	-3...-4	-1...-2	-
<i>Малоустойчивые</i>			
Кукуруза	-2...-3	-1...-2	-2...-3
Просо, сорго, картофель	-2...-3	-1...-2	-1...-2
<i>Неустойчивые</i>			
Огурцы, томаты	0...-1	0...-1	0...-1
Гречиха	-1...-2	-1	-1,5...-2
Хлопчатник	-0,5...-1	-0,5...-1	-1
Фасоль	-1...-1,5	-0,5...-1	-0,5...-2
Бахчевые	-0,5...-1	-0,5...-1	-0,5...-1
Рис	-0,5...-1	-0,5	-

Снижение урожая вследствие повреждения заморозками при прочих равных условиях (интенсивность, продолжительность и т.д.) бывает различным в зависимости от температуры воздуха до заморозка. Если температура была относительно высокой (для холодостойких

Таблица 12.6

**Критические температуры для генеративных органов плодовых  
и ягодных культур**

<i>Культура</i>	<i>Генеративные органы</i>	<i>Критическая температура, °С</i>
Виноград	Распустившиеся почки	-1
	Цветки	0
Яблоня, груша, вишня, слива	Закрытые бутоны	-4
	Цветки	-2
	Завязи	-1
Черешня	Бутоны и цветки	-2
	Завязи	-1
Абрикос, персик	Закрытые бутоны	-3
	Цветки	-2
	Завязи	-1
Малина, земляника	Цветки и завязи	-2

культур, например, это более 10 °С), то отрицательные последствия будут больше, если низкой — меньше. Дело в том, что в данном случае сказывается закаливающее адаптационное действие пониженных температур. Закаливающее действие оказывает и амплитуда суточных колебаний температуры до заморозков: чем больше амплитуда, тем сильнее закаливание и меньше ущерб от заморозка.

В то же время если до заморозка растение развивалось при избытке влаги, то повреждение и снижение урожая в любом случае будут больше.

Степень повреждения растений заморозками зависит и от вида вносимых удобрений. Азотные удобрения у большинства культур снижают устойчивость к заморозкам, а у бобовых — повышают. Обильное калийное питание повышает устойчивость гречихи и картофеля, но снижает ее у кукурузы и сои, и т.д.

**Прогноз заморозков.** Для своевременной и успешной защиты от заморозков необходимо их прогнозирование. Для прогноза ожидаемого заморозка используют различные методы.

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. Однако в зависимости от местных условий, как отмечалось ранее, интенсивность заморозков по территории может быть различной, и эта разница может достигать 3...5 °С и более. Поэтому синоптический прогноз можно уточнить по данным наблюдений в конкретном районе. Для этого разработан ряд методов, например метод Н.И. Михалевского.

Для определения ожидаемой минимальной температуры воздуха и почвы Н.И. Михалевский предложил следующие формулы:

$$t_{\min} = t' - (t - t')C \pm A, \quad (12.4)$$

$$t_{\min} = t' - (t - t')2C \pm A, \quad (12.5)$$

где  $t'$  — температура по смоченному термометру в 13 ч, °С;  $t$  — температура по сухому термометру в 13 ч, °С;  $C$  — коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха  $f$ :

$f, \%$	100	90	80	70	60	50	40	30	20
$C$	5,0	4,0	3,0	2,0	1,5	1,2	0,9	0,7	0,4

$A$  — поправка на облачность, которую вводят после наблюдений в 19 ч: если небо ясное (0...3 балла), то  $A = -2$  °С, при средней облачности (4...7 баллов)  $A = 0$ , при облачности 8...10 баллов  $A = +2$  °С.

Если рассчитанная  $t_{\min}$  окажется ниже  $-2$  °С, то заморозок будет; при  $t_{\min}$  от  $-2$  до  $+2$  °С заморозок вероятен; при  $t_{\min}$  выше  $2$  °С заморозок маловероятен.

На осушенных торфяно-болотных почвах северо-западных и западных областей России ожидаемые минимальные температуры воздуха  $t_{\min в}$  и почвы  $t_{\min п}$  можно рассчитывать по формулам, полученным Р.М. Меджитовым:

$$t_{\min в} = 0,8t + 0,09f - 14,1, \quad (12.6)$$

$$t_{\min п} = 0,78t + 0,11f - 18,3, \quad (12.7)$$

где  $t$  и  $f$  — температура и относительная влажность воздуха в 13 ч или в любой срок между полуднем и заходом Солнца.

Наиболее просто ожидаемую ночную температуру воздуха на высоте 2 м можно рассчитать по графику П.И. Броунова (рис. 12.8). При этом используют наблюдения за температурой воздуха в 13 и 21 ч. На горизонтальной оси откладывают разность температур днем и вечером, а на вертикальной — вечернюю температуру. Точка пересечения укажет вероятность заморозка.

Имеются и другие способы предсказания заморозков, например методы М.Е. Бердянда, А.Ф. Чудновского, которые основаны на более полном учете физических причин возникновения заморозков. Они дают более точные результаты, но значительно сложнее в расчетах и предусматривают учет большего числа исходных данных.

Так как современные методы предсказания заморозков не обеспечивают 100%-ю оправдываемость, в практике их дополняют *мето-*

дом непрерывного наблюдения за погодой. В период возможного наступления заморозков организуют ежечасные наблюдения за состоянием атмосферы и метеорологическими условиями. В первую очередь наблюдают за облачностью, параметрами ветра, температурой и влажностью воздуха.

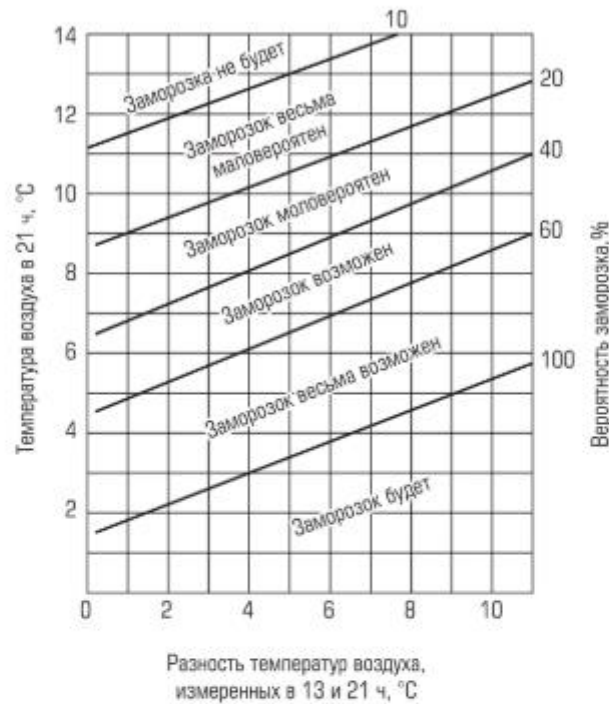


Рис. 12.8. График прогноза вероятности заморозков методом Броунова

**Методы защиты сельскохозяйственных культур от заморозков.** При защите растений от заморозков необходимо воздействовать на тепловой режим приземного слоя воздуха путем снижения излучения тепла почвой и растениями, повышения теплопроводности почвы, перемешивания и подогрева приземного слоя воздуха и т.д. Обычно повышение температуры на 1...2 °C выше критической значительно снижает действие заморозков, а повышение на 3...4 °C почти полностью защищает растения от их действия.

Наиболее старый и распространенный метод защиты сельскохозяйственных культур от заморозков — *дымление*. Повышение температуры подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха под дымовой завесой обусловлено комплексом факторов: обогревом воздуха при горении дымообразующих веществ, конденсацией водяного



пара в воздухе с выделением тепла, уменьшением эффективного излучения. В то же время дымовая завеса в утренние часы, закрывая растения от прямых солнечных лучей, способствует более медленному и равномерному оттаиванию тканей растений, если они подмерзли, и уменьшению степени повреждения.

Дымовая завеса образуется вследствие температурной инверсии в приземном слое атмосферы. При безветрии в ясную ночь нижний слой воздуха сильно выхолаживается и разность температур у поверхности почвы и на высоте 8...10 м может достигать 8...11 °С. Дым, охлаждаясь в нижнем слое воздуха, быстро теряет подъемную силу и внутри слоя инверсии начинает растекаться в горизонтальном направлении.

Одним из способов дымления является окуривание растений при помощи дымовых куч (рис. 12.9), сжигая которые, защищают от заморозков огородные культуры, плодовые растения во время их цветения, виноградники и т.д. В производственных условиях в большинстве случаев удается повысить температуру под пеленой дыма примерно на 1...2 °С.

Следует отметить, что способы дымления могут давать эффект только на ровном месте, при отсутствии подтока холодного воздуха со стороны и при слабом ветре (1...2 м/с).

Для образования дымо туманной завесы иногда используют красный фосфор, который при сжигании дает густую пелену дыма, также применяют мазут и другие вещества. В последние годы для создания таких завес стали широко применять специальные дымовые шашки.

Зажигание дымовых смесей можно начинать при температуре воздуха на 1...1,5 °С выше критической температуры защищаемой

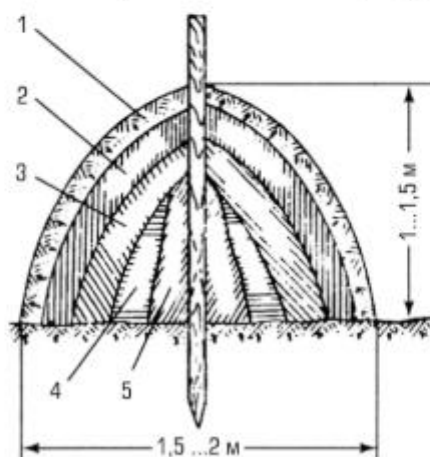


Рис. 12.9. Дымовая куча:

- 1 — земля; 2 — бурьян и ботва; 3 — навоз, солома, листва; 4 — щепки и дрова;  
5 — солома и стружки

культуры. Дымление необходимо продолжать еще 1...1,5 ч после восхода Солнца.

*Открытый обогрев* предполагает использование различного типа грелок для нагревания слоя воздуха среди растений.

В качестве топлива чаще используют нефть, но есть и парафиновые грелки, и грелки на твердом топливе.

При использовании такого метода возможно повышение температуры воздуха в приземном слое на 1...4 °С.

Определенный интерес представляет комбинированное использование открытого обогрева с ветровыми машинами, способствующими более равномерному распределению тепла, излучаемого грелками.

Существенный недостаток этого метода — загрязнение атмосферного воздуха. Кроме того, продукты неполного сгорания оседают на растениях и ухудшают их фотосинтетическую деятельность.

Для *укрытия растений* применяют различные светопрозрачные материалы (пленку, стеклянные колпаки), тканые и нетканые материалы, специальные пены. По своим теплозащитным свойствам жидкая пена аналогична свежеснеговому снегу. В отдельных случаях низкорослые растения просто присыпают землей или торфом.

*Продувание посевов и насаждений* с помощью снятых с самолетов двигателей, отработавших свой полетный ресурс, или с помощью вертолета, зависающего на небольшой высоте над плодовым садом, способствует перемешиванию более холодного приземного воздуха с верхним, более теплым, что разрушает температурную инверсию. Проведенные эксперименты показали эффективность этого способа.

*Орошение* при заморозках повышает температуру точки росы, способствует увеличению теплопроводности почвы и притоку тепла из более глубоких слоев к поверхности, что может повысить температуру в холодные ночи на 2 °С.

*Дождевание* с помощью установок различных конструкций — наиболее эффективный способ защиты растений от заморозков. Различают два типа дождевания: предзаморозковое (за несколько часов до заморозка) и противозаморозковое (непосредственно в период отрицательных, но не критических температур).

*Предзаморозковое* дождевание защищает в основном низкорослые культуры при заморозках до -2 °С и ветре 1,5...2 м/с, а при штиле — до -4 °С. Эффективность этого способа основана, так же как и при орошении, на увеличении теплопроводности почвы и повышении температуры точки росы.

*Противозаморозковое* дождевание дает возможность защищать растение даже от сильных заморозков (до -8 °С). Действие его основано на том, что при дождевании в период отрицательных температур сравнительно теплая вода, охлаждаясь, выделяет много тепла. Еще больше

тепла выделяется при превращении воды в лед. И кроме того, ледяная корочка, образующаяся на растении, уменьшает его радиационное охлаждение — излучающей поверхностью будет ледяной «панцирь».

Перспективно использование регуляторов роста и развития, тормозящих развитие плодовых почек и задерживающих тем самым цветение (это особенно ценно для раноцветущих культур). При этом было установлено, что некоторые регуляторы вообще способствуют существенному повышению устойчивости цветков к заморозкам.

Положительные результаты дали опыты В.В. Вольвача, Н.К. Диденко и др. по использованию гидрореагирующих веществ (из класса гидридов кальция). Вещества наносят на поверхность почвы, при взаимодействии их с водяным паром выделяется тепло. Скорость реакции гидролиза невелика, а время выделения тепла составляет несколько часов, что соизмеримо с продолжительностью радиационных и адвективно-радиационных заморозков. При расходе вещества  $200 \text{ г/м}^2$  температура повышалась на  $3^\circ\text{C}$ .

Большинство методов, как можно видеть из данного обзора, эффективны при защите от радиационных и адвективно-радиационных заморозков.

## 12.2. ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА

Успешность возделывания сельскохозяйственных культур определяется агрометеорологическими и агроклиматическими условиями не только вегетационного периода, но и условиями, складывающимися в период перезимовки.

В зимний период на территории России наблюдаются различные опасные явления для озимых, многолетних трав и древесных культур. Достигая в том или ином районе значительной интенсивности, они повреждают или даже губят растения.

Агроклиматическое изучение зимнего периода дает представление о том, какие опасные явления наблюдаются в данном районе, каковы их частота и интенсивность. Эти сведения используют при решении вопросов рационального размещения культур по территории, при разработке способов защиты растений от этих явлений.

Степень повреждения зимующих культур опасными явлениями, и прежде всего низкими температурами, бывает различной в разные годы и в разные периоды зимы одного года. Это объясняется состоянием растений и их зимостойкостью, сильно изменяющимися в течение зимы и от года к году. Поэтому, прежде чем разбирать сами опасные явления, необходимо хотя бы кратко рассмотреть физические и биологические основы зимостойкости растений.

### 12.2.1. Зимостойкость растений

*Зимостойкость растений* — биологическое свойство зимующих растений противостоять комплексу неблагоприятных условий погоды в холодное время. И.И. Туманов подчеркивает, что зимостойкость — мобильное, непостоянное и не всегда характерное даже для одного и того же растения свойство. Оно обусловлено направленностью физиологических и биохимических процессов, возникающих у растений в холодный период года. Зимостойкость как качество развивается у растений в результате процесса закаливания в конце осени.

Согласно теории И.И. Туманова процесс закаливания растений требует определенного комплекса внешних условий и проходит в две фазы, которым предшествуют замедление роста и переход растений в состояние покоя. Прекращение роста и переход в состояние покоя — необходимые условия прохождения первой фазы закаливания озимых растений складываются при солнечной и прохладной погоде (дневная температура 10...15 °С, ночью — около 2 °С). В таких условиях за счет фотосинтеза образуются сахара, а понижение температуры в ночное время значительно снижает их расход на дыхание и процессы роста. В результате в клетках растений накапливаются сахароза, растворимые белки и т.д., в мембранах возрастает содержание ненасыщенных жирных кислот, снижается точка замерзания цитоплазмы, отмечается некоторое уменьшение внутриклеточной воды, что в целом тормозит образование внутриклеточного льда. В естественных условиях оптимальный срок первой фазы закаливания озимых злаков до 12...14 сут. (по другим данным — 5...9 сут.), древесных — 30 сут. За это время количество сахаров в растениях возрастает до 70% на сухую массу или до 22% на сырую массу, т.е. близко содержанию сахаров в корнеплодах лучших сортов сахарной свеклы. После окончания первой фазы закаливания растения озимых безболезненно выдерживают понижение температуры почвы на глубине узла кущения до -12 °С.

Вторая фаза закаливания растений успешно проходит при среднесуточной температуре воздуха -2...-5 °С при постепенном снижении ее до -10 °С и ниже, сухой погоде и при некотором иссушении почвы. Она может проходить и при отсутствии света, когда на полях установится снежный покров.

В течение второй фазы закаливания зимостойкость растений повышается за счет обезвоживания тканей, перехода свободной воды в связанную, что снижает опасность внутриклеточного льдообразования, и увеличения концентрации клеточного сока. Крахмал в клетках растений частично превращается в сахара, запасы которых увеличиваются. Продолжительность второй фазы, по мнению Туманова,

небольшая — 3...5 сут. Наибольшее количество сахаров в растениях отмечается в период второй фазы закаливания.

Надо отметить, в литературе есть данные, что у древесных растений, имеющих в тканях достаточное количество сахаров, сразу же протекают процессы, свойственные второй фазе закаливания.

Эффект закаливания может не проявиться, если по каким-либо причинам (засуха, поздний посев, посадки и др.) произошла задержка развития растений. Так, если в течение лета у плодовых растений процессы роста из-за летней засухи не успели закончиться, то зимой это может привести к гибели растений. Дело в том, что засуха, приостанавливая рост летом, не позволяет растениям завершить его к осени. Одновременно при закалке должен произойти отток различных веществ из надземных органов в подземные зимующие (корневые системы, корневища, луковицы, клубни). По этой же причине закалку травянистых и древесных растений ухудшает избыточное азотное питание, удлиняющее период роста до поздней осени, в результате растения не способны пройти процессы закаливания и гибнут даже при небольших морозах.

Зимостойкость культур зависит также от влажности почвы в осенний период вегетации. Так, озимые культуры приобретают большую морозостойкость, если влажность почвы в период закаливания составляет 50...70% полной влагоемкости. Избыточное же увлажнение (более 80% полной влагоемкости) отрицательно влияет на закаливание озимых. А зимостойкость плодовых деревьев зависит еще и от таких факторов, как количество урожая, время созревания плодов, время опадения листьев, осенние заморозки. Например, поврежденные ранними осенними заморозками листья не могут в полной мере накопить защитные питательные вещества, поэтому растения не могут развить достаточную зимостойкость и повреждаются даже слабыми морозами.

После прохождения полного закаливания значительно повышается зимостойкость культур и, в частности, морозостойкость. Под *морозостойкостью* понимают способность растений противостоять низким отрицательным температурам в зимний период. Так, критическая температура озимой пшеницы среднезимостойких сортов понижается до  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а высокозимостойких — до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже. Критическая температура вымерзания ржи составляет  $-22\text{...}-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже, озимого ячменя и двуукосного клевера  $-13\text{...}-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , люцерны  $-17\text{...}-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кроны многих древесных культур могут переносить морозы до  $-45\text{...}-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , за исключением лимона, который не переносит температуры воздуха ниже  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Устойчивость растений к морозам изменяется: в начале зимы морозостойкость сельскохозяйственных культур бывает сравнительно невысокой, к середине зимы увеличивается до максимальных значений, а к весне уменьшается.

Таблица 12.7

**Температуры почвы (на глубине 3 см), повреждающие озимую пшеницу при различных условиях закаливания, °С**

Территория	Условия закаливания		
	Хорошие	Средние	Плохие
Северный Кавказ, северо-запад европейской части России	-18...-20	-16...-18	-14...-16
Центрально-Черноземная зона, центральные и северные области Нечерноземной зоны	-20...-22	-18...-20	-16...-18
Поволжье, юг Урала, Западная Сибирь	-22...-25	-20...-23	-18...-21

Таким образом, осенние условия имеют большое значение для формирования зимостойкости. А так как погодные условия осенью из года в год обычно меняются, то из года в год довольно существенно меняется и зимостойкость одних и тех же сортов сельскохозяйственных культур (табл. 12.7).

### 12.2.2. Опасные явления и меры защиты от них

*Вымерзание* — наиболее распространенная причина повреждения и гибели зимующих культур на больших площадях. Оно происходит в результате понижения температуры воздуха или почвы ниже критической для растений в течение 2...3 сут. Клетки растений гибнут в результате обезвоживания протоплазмы и деформации протопластов клеток от механического давления льда, образовавшегося вне клеток. Вымерзание растений внешне характеризуется побурением и отмиранием тканей.

По данным А.В. Гордеева и др., максимальная площадь погибших посевов озимых по многим областям Черноземной зоны достигала 70...90% посевной. Риск гибели озимых на площади более 30% посевной, когда создается чрезвычайная ситуация на территории не только отдельных областей, но и крупных зон, равен 18...26% (Центрально-Черноземный регион, Ростовская область, юг Поволжского, Уральского и Западно-Сибирского регионов), в южных областях Центрального, Волго-Вятского регионов он составляет 10...15%. В целом по стране чрезвычайные ситуации в связи с вымерзанием озимых происходят в 7% лет.

Агрометеорологические условия, при которых вымерзают сельскохозяйственные культуры, чаще всего (40...60% лет) создаются в первой половине зимы, до образования снежного покрова, достаточного для защиты растений от мороза. Во второй половине зимы вымерзание растений возможно в районах с неустойчивым снежным покровом или частыми глубокими оттепелями.

Вымерзают озимые культуры наиболее часто на возвышенных участках полей, а также на западных и южных склонах, где высота снежного покрова меньше, а почва промерзает глубже.

Для плодовых культур особенно опасно повреждение низкими температурами корневой системы, так как это может привести к гибели всего дерева. Морозоустойчивость корней плодовых культур значительно меньше, чем кроны: корневая система переносит понижение температуры лишь до  $-8...-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При повреждении корневой системы у плодовых деревьев ослабляется рост, формируются мелкие листья, частично засыхают и опадают завязи, урожай в течение нескольких лет может быть низким.

В суровую бесснежную зиму 1968–1969 гг., когда температура на глубине залегания корней понижалась до  $-16...-17\text{ }^{\circ}\text{C}$  и длительное время держалась в этих пределах, на европейской части России, по данным Т.А. Побетовой, погибло более 30% садов. Степень повреждения корней плодовых деревьев в период зимовки зависит также от типа почв и их гранулометрического состава. На легких супесчаных почвах корни плодовых деревьев промерзают сильнее, чем на более тяжелых и богатых органическими веществами.

Основной способ защиты озимых и многолетних трав — снегозадержание, которое позволяет не только увеличить высоту снежного покрова, но и достичь более равномерного распределения его на полях. Большое значение имеет и агротехника: более глубокая заделка семян, сев по чистым парам и лучшим предшественникам (лучше влагообеспеченность осенью), а также сроки сева озимых и последнего укоса трав. Так, озимые, ушедшие в зиму в фазе кущения и имеющие 4...5 побегов, обладают большей зимостойкостью, чем растения в фазе всходов или третьего листа либо переросшие.

Для защиты плодовых деревьев от вымерзания необходимо закладывать сады в наименее морозоопасных местах, а для защиты корневой системы — проводить снегозадержание или мульчирование приствольных кругов торфом, перепревшей соломой, навозом.

Например, в садах Мичуринской аграрной академии в течение ряда лет для снегозадержания и утепления почвы в зоне корней слаброслых деревьев в междурядьях сада высевали горчицу. Наблюдения за температурой верхнего слоя почвы, содержащейся в разных агротехнических условиях, показали, что температура почвы, покрытой горчицей, в среднем на  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше, чем почвы, содержащейся под черным паром. В зиму 1968–1969 гг. разница в температуре в среднем достигала  $3,5...4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в морозные дни января она доходила до  $10...11\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Выпревание* растений происходит в результате длительного (более 30 сут.) пребывания их под высоким (более 30 см) снежным покровом при слабом промерзании почвы и ее температуре на глубине узла кущения растений, близкой к  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При таких условиях растения быстро расходуют запасы питательных веществ на дыхание и рост, хотя и слабый, истощаются и подвергаются грибным заболеваниям, от которых погибают.

И.И. Туманов выделяет три качественно различные фазы в ходе выпревания растений: углеводное истощение, голодание и распад органических веществ, гибель растений при развитии грибных заболеваний.

Для первой фазы выпревания характерно углеводное истощение зимующих растений. При температуре под снегом, близкой к 0 °С, растения сохраняют заметную энергию дыхания и слабый рост. Ежедневные, даже слабые (при небольшой отрицательной температуре) расходы сахаров на дыхание в течение продолжительного периода пребывания растений под мощным снежным покровом суммируются и приводят к истощению растений. Пополнение запасов сахаров в темноте под снежным покровом невозможно из-за отсутствия фотосинтеза.

Гибель растений наступает не сразу по израсходованию осенних запасов сахаров, а значительно позднее, так как растения способны в некоторой степени пополнять эти запасы за счет превращения крахмала в сахара. Но при этом растение голодает (происходит расход белков и распад тканей растений), т.е. наступает вторая фаза выпревания озимых. Растения начинают расходовать белки, когда у них остается всего 2...4% сахаров. Это бывает обычно в конце зимы и в период снеготаяния. Расход белков опасен для жизни растений еще и потому, что выделяющееся при этом тепло создает благоприятные условия для развития микроорганизмов и роста мицелия различных грибов. Последние, быстро и мощно развиваясь на голодающих растениях, резко ускоряют расход белков и приводят к гибели сначала листьев, касающихся почвы, затем оснований побегов, а в дальнейшем — узлов кушения озимых и корневой шейки многолетних трав.

Период развития снежной плесени на растениях, повреждения и гибель от нее растений — завершающая, третья фаза выпревания озимых. При благоприятных условиях для развития мицелия грибов (температура под снегом около 0 °С и выше и влажность воздуха около 90%) гибель растений наступает в течение нескольких дней.

Гибель посевов от выпревания на площади 11...20% наиболее часто происходит в Уральском, Северо-Западном и Центральном районах. В целом по стране риск выпревания на такой площади составляет 18%, на площади более 20% посевной — 6% лет. Надо отметить, что при выпревании гибнет чаще всего основной побег, который в несколько раз продуктивнее, чем остальные.

Для защиты растений от выпревания снежный покров уплотняют прикапыванием, что способствует снижению температуры почвы под снегом. Покрытие поверхности снежного покрова, например, золой, землей, минеральными удобрениями весной ускоряет начало снеготаяния, приводит к уплотнению и более раннему сходу снежного покрова, что также уменьшает гибель посевов от выпревания.



Для снижения риска возможного выпревания важно соблюдать сроки сева озимых и норму высева семян, чтобы растения не ушли в зиму переросшими, а посевы не были загущенными.

*Вымокание* растений вызывается застоем воды на полях. Основная причина гибели растений при затоплении — нарушение процессов дыхания и фотосинтеза.

Вымокание происходит преимущественно весной в пониженных местах в период таяния снега, реже во время длительных оттепелей, когда на поверхности почвы накапливается талая вода, которая не впитывается в замерзшую почву и может затопить растения. У растений, оказавшихся под слоем воды, нормальное дыхание прекращается из-за недостатка кислорода в воде и почве. Отсутствие кислорода усиливает анаэробное дыхание растений, в результате чего могут образоваться токсичные вещества и растения погибают от истощения и прямого отравления организма.

Степень повреждения растений зависит от высоты их затопления, продолжительности периода затопления и температуры воды. Так, прорастающие семена погибают на 18...20-е сут., а развитые всходы могут выдерживать частичное затопление до двух месяцев. При повышении температуры воды, например, от 0 до 7 °С число погибших растений увеличивается в 2 раза. При этом весеннее затопление растений при прочих равных условиях более опасно, чем осеннее, так как растения ослабляются и истощаются в течение зимы.

Основные территории, где отмечается это явление (в 20...30% лет), — северо-западные, западные и центральные районы европейской части России.

Хорошо развитые и зимостойкие посевы (с большими запасами сахаров) вымокают меньше. Поэтому высокий уровень агротехники и отвод с полей талых вод являются основными мероприятиями по защите посевов от вымокания.

*Ледяная корка* — слой льда, образовавшийся при оттепелях от таяния снега или при выпадении жидких осадков и их последующем замерзании. Она бывает притертой (смерзшейся с землей) и подвешенной (в снежном покрове).

Наиболее опасна для растений притертая ледяная корка. Степень повреждения растений зависит от ее толщины, составляющей в среднем около 20 мм (может достигать 100 мм и более), и продолжительности залегания. Озимые и травы гибнут под притертой к почве коркой вследствие нарушения газообмена (недостатка кислорода и избытка углекислого газа). Растения, как и в случае вымокания, переходят на анаэробное дыхание, при котором образуются спирт и другие токсичные вещества.

За одни сутки в тканях растений под ледяной коркой содержание диоксида углерода может возрасти от 2 до 20%, а кислорода — уменьшиться с 20 до 8%.

Иногда притертая ледяная корка наносит и чисто механическое повреждение растениям: происходит разрыв корешков, вмерзших в лед.

Если ледяная корка нетолстая и вмерзают только узлы кущения, а листья находятся на воздухе, то такие растения, как правило, выживают, поскольку воздух проникает по межклеточникам из листьев в корневую систему.

Ледяная корка не образуется, если после оттепели выпадает снег, не позволяющий морозу глубоко проникнуть в почву, тем самым предотвращая его повреждающее воздействие на растения.

Ледяная корка в виде прослойки в снежном покрове для озимых и трав, как правило, не опасна. Лишь в отдельных случаях солнечные лучи проникают сквозь такую ледяную корку и под ней, как под линзой, вызывают ожоги листьев.

Основные районы распространения ледяной корки на полях — Центрально-Черноземный, Центральный, Северо-Западный, юг Волго-Вятского и север Поволжья. В целом по стране вероятность риска чрезвычайных ситуаций, связанных с вредным влиянием на озимые ледяной корки (с площадью погибших посевов к весне более 20% посевной), составляет около 5% лет.

Наиболее эффективными мерами защиты посевов от притертой ледяной корки являются осушение полей, снегозадержание, отвод талых вод, зачернение поверхности корки для ускорения ее таяния.

*Выпирание* растений озимых культур и многолетних трав происходит вследствие неоднократного оттаивания и замерзания верхнего слоя почвы. При замерзании воды в порах почвы ледяные кристаллы распирают почву, в результате чего она выпучивается и поднимает вместе с собой растения. Когда почва оттаивает, она постепенно оседает, а часть растений остается в вытянутом состоянии над почвой. При неоднократном повторении процессов замерзания и оттаивания обнажаются узлы кущения озимых и корневые шейки многолетних трав. Наблюдались случаи выпирания растений на высоту до 12 см. В дальнейшем такие растения чаще вымерзают, а весной высушиваются и погибают.

Выпиранию растений способствует также образование притертой ледяной корки, в которую вмерзают растения. В дальнейшем за счет поднятия воды по почвенным капиллярам происходит «наращивание» снизу слоя льда и растения вытесняются из почвы.

В результате выпирания сильнее повреждаются растения на переувлажненных, поздно вспаханных тяжелых, бесструктурных почвах, особенно в тех случаях, когда сев озимых проводят вскоре после обработки почвы. Выпиранию на таких почвах подвержены растения со слаборазвитой корневой системой. Хорошо раскутившиеся озимые, имеющие большое число горизонтально расположенных в почве корней, подвергаются выпиранию значительно реже. Корневая

система их поднимается и опускается одновременно с выпучиванием и оседанием верхнего слоя почвы.

Выпиранию могут подвергнуться и молодые (1–2-летние) посадки древесных культур. Оставшиеся в почве тонкие и нежные корни бывают не в состоянии удержать растение в вертикальном положении, и оно ложится и погибает.

Наиболее часто выпирание растений наблюдается в районах избыточного увлажнения на тяжелых суглинистых почвах при неустойчивой зиме, т.е. на северо-западе и западе Нечерноземной зоны.

Основные мероприятия по защите от выпирания: своевременная обработка почвы под посев озимых; посев в уже уплотнившуюся почву; более глубокая заделка семян; осушение полей; иногда снегозадержание на полях с растениями, у которых узлы кущения уже обнажились. Помогает и своевременное весеннее прикатывание посевов кольчатыми или зубчатыми катками — это дает возможность прижать обнаженный узел кущения к еще влажной почве.

*Выдувание* озимых культур происходит при пыльных бурях в степных районах страны, когда снежный покров невысокий или отсутствует, а почва сухая и поэтому слабо сцементирована. Сильные ветры (более 10 м/с) уносят частицы верхнего слоя почвы, оголяя узлы кущения и корневую систему. При скорости ветра 15...25 м/с переносимые частицы почвы наносят растениям и механические повреждения: разрывают листья, ломают побеги, разрушают оголенные узлы кущения. Слабораскустившиеся растения вообще полностью выдуваются из почвы и быстро засыхают.

Наиболее часто и интенсивно воздействию пыльных бурь в России подвержена территория Северного Кавказа (Ростовская, Волгоградская и Астраханская области, Ставропольский и Краснодарский края, республики Калмыкия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия — Алания, Чечня), где они наносят наибольший ущерб.

Для предотвращения выдувания растений необходимо применять все приемы агротехники, направленные на увеличение влажности почвы и высоты снежного покрова, снижение скорости ветра: лесополосы, кулисы, безотвальная вспашка и т.д. Кроме того, необходимы более глубокая заделка семян, сев в уже уплотнившуюся почву, послепосевное прикатывание почвы.

*Зимняя засуха* бывает во второй половине зимы или ранней весной при отсутствии снежного покрова. В солнечную погоду температура воздуха днем поднимается до 0 °С и выше. При этом надземные части растений прогреваются, что приводит к усилению транспирации, а вода из мерзлой почвы не поступает. В результате обезвоживания листьев повышается концентрация клеточного сока, сильное пересыхание тканей приводит к коагуляции белков в клетках, происходит сначала засыхание надземных органов, а затем узлов

кушения и корневых шеек, и растение погибает. Особенно страдают от недостатка влаги при таких условиях слаборазвитые озимые. Это явление чаще наблюдается в районах с неустойчивым снежным покровом, т.е. на юге степной зоны.

От зимней засухи могут пострадать также плодовые и ягодные культуры. Причем обводненность растений снижается неравномерно: наибольшие потери влаги наблюдаются у однолетних веток, отсюда и большая повреждаемость их зимней засухой по сравнению с двух-трехлетними.

Зимнему высушиванию растений также способствуют сильные ветры и низкая относительная влажность воздуха.

Меры защиты от зимней засухи — снегозадержание, побелка стволов и скелетных ветвей.

Во второй половине зимы при ясной погоде в течение суток наблюдаются значительные колебания температуры тканей коры и древесины. Кора на южной стороне деревьев нагревается прямыми и отраженными от снежного покрова солнечными лучами до положительных температур, а ночью при низких температурах замерзает, вследствие чего отмирают отдельные участки коры. Такие повреждения называют *солнечными ожогами*, или *морозобоинами*. Весной на поврежденных местах коры образуются трещины — входы для грибных и бактериальных возбудителей болезней коры и древесины. От солнечных ожогов страдают практически все породы плодовых деревьев во всех районах их возделывания.

Для предохранения плодовых культур от солнечных ожогов стволы обвязывают различными материалами или белят известковыми, меловыми составами или водноэмульсионными красками.

Повысить устойчивость коры деревьев к ожогам помогает внесение азотных удобрений (весной) для лучшей обводненности тканей, фосфорно-калийных — для общей устойчивости коры и камбия.

*Оттепель* — повышение температуры воздуха до 0 °С и выше в холодный период на фоне установившихся отрицательных температур. Зимой оттепели происходят в результате вторжения (адвекции) теплого морского воздуха (чаще с Атлантики). Адвективные оттепели вызывают резкое повышение температуры воздуха, сопровождаются осадками в виде дождя или мокрого снега.

В конце зимы и ранней весной, когда усиливается приток инсоляции, в ясные дни на солнце температура воздуха поднимается выше 0 °С — возникают радиационные оттепели. В тени в это время, как правило, температура воздуха отрицательная.

Оттепели особенно опасны для плодовых деревьев и ягодных кустарников, так как значительно снижают морозостойкость всех тканей и почек. При резком затем похолодании, даже несильном, неко-

торые участки тканей, потерявшие устойчивость, повреждаются и гибнут. Ранневесенние оттепели также вызывают солнечные ожоги.

Кроме того, оттепели приводят к образованию ледяной корки и раннему сходу снежного покрова, что в дальнейшем нередко является причиной повреждений незащищенных озимых и многолетних трав морозами.

Степень повреждения растений оттепелями зависит от их глубины (т.е. повышения температуры) и продолжительности.

Основные приемы защиты плодовых деревьев от резких перепадов температуры — это побелка или обвязка различными материалами штамба и скелетных ветвей, своевременное окучивание снегом. Окучивание плодовых деревьев снегом имеет большое значение особенно на южных склонах, где существует повышенная опасность повреждения коры резкими колебаниями температуры. Однако, если снег выпал на талую почву, может появиться угроза подпревания коры. В таких условиях окучивание снегом следует отложить до промерзания почвы или вовсе не проводить.

Положительное влияние на повышение устойчивости плодовых к зимним неблагоприятным условиям оказывает применение регуляторов роста и развития. Например, опрыскивание молодых деревьев 1%-м раствором ТУРа способствует торможению ростовых процессов и повышению морозостойкости растений. Повысить устойчивость кроны деревьев к действию оттепелей и следующих за ними морозов помогает также прививка недостаточно зимостойким сортам на штамб или в крону зимостойкого сорта-скелетообразователя.

*Гололед* — слой гладкого прозрачного или мутного льда, образующегося на земной поверхности, деревьях и других наземных предметах вследствие намерзания переохлажденных капель дождя, мороси или тумана при их соприкосновении с земной поверхностью или наземными предметами, охлажденными ниже 0 °С (рис. 12.10). Чаще всего гололед наблюдается поздней осенью или ранней весной при температуре воздуха от 0 до -5 °С.

При интенсивном и длительном гололедообразовании на предметах накапливается много льда, под тяжестью которого ломаются ветви плодовых деревьев и кустарников. Под слоем гололеда гибнут озимые и ягодные культуры.

В заключение необходимо отметить, что повреждения и гибель растений зимой обусловлены, как правило, одновременным действием нескольких опасных явлений, например выпреванием и последующим вымоканием, выпиранием и затем выдуванием или высушиванием и т.д.



Рис. 12.10. Отложение гололеда на ветвях

Большое значение для поддержания ослабленных неблагоприятной перезимовкой растений имеют весенняя подкормка их минеральными удобрениями и боронование посевов.

#### Контрольные вопросы и задания

1. С какой барической системой связано возникновение засух и суховеев?
2. Как рассчитываются показатели засушливости? Приведите примеры.
3. Какой показатель интенсивности засухи наиболее объективный?
4. Почему насаждения полезащитных лесополос эффективны для защиты посевов от засух и суховеев?
5. Перечислите методы защиты почвы от ветровой эрозии.
6. Чем опасны ливни для сельскохозяйственных полей? Какие облака их дают?
7. Из каких облаков выпадает град? Назовите меры защиты от градобития.
8. Расскажите о заморозках и причинах, их вызывающих.
9. Какие местоположения наиболее заморозкоопасны и почему?
10. На каких почвах больше вероятность заморозков и почему?
11. Перечислите меры защиты растений от заморозков.
12. Какие изменения происходят в растениях при подготовке к перезимовке?
13. При каких условиях происходит вымерзание зимующих культур? Перечислите способы защиты растений от вымерзания.
14. Возникновение какого неблагоприятного явления для озимых и многолетних трав связано с установлением раннего мощного снежного покрова? Как помочь растениям в таком случае?
15. На каких почвах и почему больше вероятность выпирания зимующих культур? Назовите меры защиты от этого.
16. Какие метеорологические явления опасны для плодовых и ягодных кустарников?

Сельскохозяйственное производство постоянно сталкивается с необходимостью сельскохозяйственной оценки территории. Например, при планировании площадей посевов, внедрении новых культур, подборе сортов и гибридов, применении новой агротехники и т.д. нужно научное обоснование этих мероприятий с учетом климатических особенностей.

Сельскохозяйственная оценка территории с точки зрения климатических условий предполагает определение ее *агроклиматических ресурсов*, т.е. совокупности агроклиматических условий, определяющих урожай возделываемых в данном регионе культур.

*Агроклиматические условия* — это сочетание агрометеорологических величин (температуры воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, осадков, потоков лучистой энергии, облачности и т.д.), осредненных за многолетний период на рассматриваемой территории.

Различия в агроклиматических ресурсах определяют зональные особенности сельскохозяйственного производства. Изучение и оценка агроклиматических ресурсов мира, нашей страны, отдельных ее регионов, административных областей и районов с целью рационального размещения сельскохозяйственных культур и проведения различных мелиоративных мероприятий для более полного использования имеющихся ресурсов — задача большой научной и практической значимости.

Агроклиматические ресурсы слагаются прежде всего из ресурсов главных факторов жизни растений: света, тепла, влаги. Подробно эти факторы рассмотрены в гл. 2, 3, 4, 8. Там же приведены карты их распределения на территории России.

*Агроклиматическое районирование* — это деление территории на районы по признаку сходства и различия их агроклиматических условий и соответствия последних требованиям сельскохозяйственных растений.

Основные задачи агроклиматического районирования сводятся к выделению таксономических агроклиматических единиц (поясов, зон, областей, районов и т.д.), различающихся между собой по агроклиматическим показателям и условиям сельскохозяйственного производства, к установлению их географических границ и составлению карт агроклиматического районирования разного масштаба — от мировых до карт отдельного хозяйства.

Методика агроклиматического районирования разработана в трудах Г.Т. Селянинова, П.И. Колоскова, Ф.Ф. Давитая, С.А. Сапожниковой, И.А. Гольцберг, Д.И. Шашко и др.

### 13.1. ОБЩЕЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

*Общее агроклиматическое районирование* характеризует распределение по территории основных элементов климата, количественно выражающих степень благоприятности климата (по показателям обеспеченности теплом и влагой вегетационного периода, по условиям перезимовки и т.д.) для сельского хозяйства в целом.

Впервые карта общего агроклиматического районирования территорий бывшего СССР была составлена в 1933 г. Г.Т. Селяниновым. Несколько позднее этим же стали заниматься П.И. Колосков, С.А. Сапожникова, Д.И. Шашко, В.П. Попов, Л.Н. Бабушкин, А.М. Шульгин и др.

Варианты районирования несколько различаются используемыми показателями, степенью детализации карт, определением границ поясов, районов и т.п.

При общем агроклиматическом районировании территорию разделяют по показателям обеспеченности теплом и влагой вегетационного периода, а также по условиям перезимовки.

В качестве основного показателя теплообеспеченности при районировании принята сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ , характеризующая период активной вегетации большинства растений. На основании пространственного распределения этого показателя выделены границы термических поясов и подпоясов.

Дифференциация территории на зоны и подзоны увлажнения проведена по показателям увлажнения, из которых наиболее широко используют ГТК Селянинова, показатели Колоскова, Шашко, Сапожниковой, методы расчета которых изложены в разд. 11.3.

Для выделения районов с различной степенью благополучия перезимовки озимых, многолетних трав и древесной растительности использованы средние из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы на глубине узла кущения для озимых и трав и на глубине 20...40 см для винограда и плодовых культур.

На картах, составленных этими авторами, на территории России выделено четыре термических пояса (рис. 13.1):

- *арктический*. Земледелие ведут лишь в защищенном грунте. Средняя температура воздуха самого теплого месяца ниже  $10^{\circ}\text{C}$ . Развиты оленеводство и охота;
- *полярный (зона тундры)*. Развито очаговое земледелие. Средняя температура воздуха самого теплого месяца ниже  $15^{\circ}\text{C}$ , сумма активных температур более  $10^{\circ}\text{C}$  на южной границе пояса —



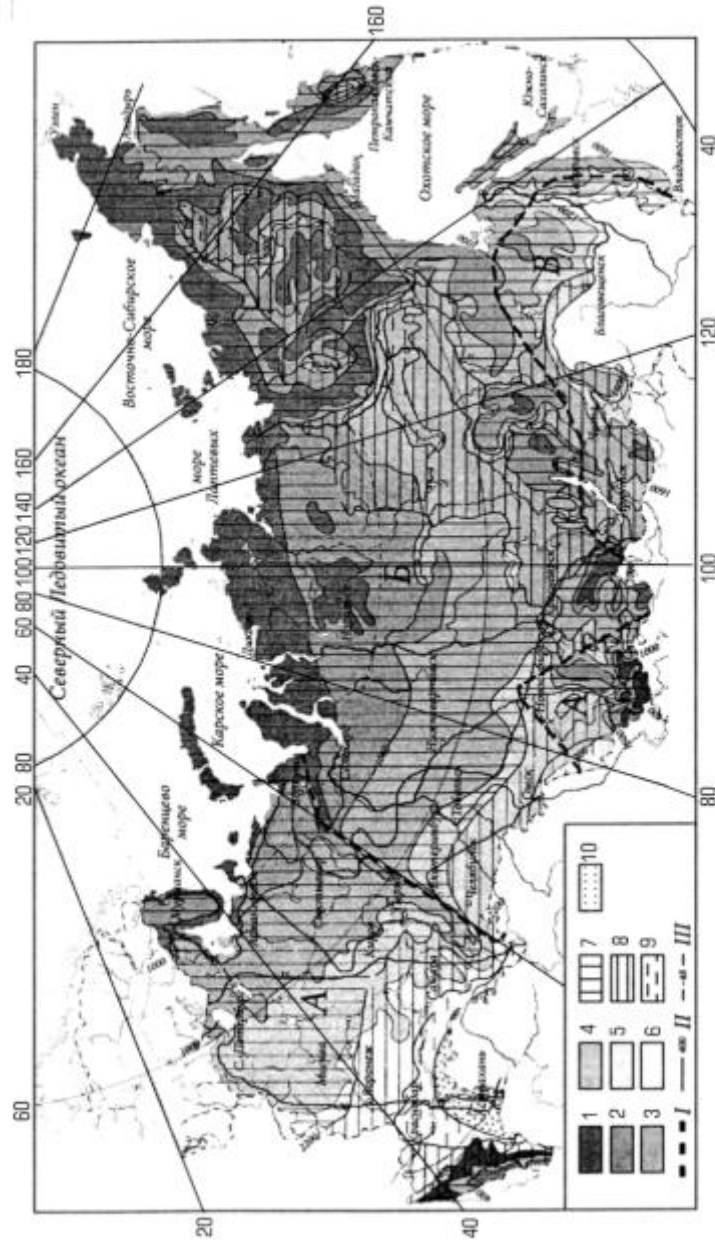


Рис. 13.1. Агроклиматические ресурсы России (упрощенно). Агроклиматические пояса по обеспеченности растений теплом ( $\Sigma T_{\text{ср}}^{\text{пос}} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$ ): 1 — менее 400  $^\circ\text{C}$ ; 2 — 400...1000; 3 — 1000...1600; 4 — 1600...2200; 5 — 2200...3400; 6 — более 3400  $^\circ\text{C}$ ; влагой (ПТК): 7 — более 1; 8 — 0,55...1,00; 9 — 0,33...0,55; 10 — менее 0,33; соотношение осадков теплого (04...10 месяцев) и холодного (11...03 месяцев) периодов: А — осадки теплого периода превышают осадки холодного периода меньше чем в 2 раза; Б — то же, в 2...4 раза; В — то же, в 4 раза; I — граница территорий с разным соотношением осадков; II — изолинии сумм температур за период с температурой выше 10  $^\circ\text{C}$ ; III — изолинии средних из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха

1000...1200 °С. Вегетационный период — менее 100 сут. Круглосуточный день в июне способствует ускоренному развитию растений. В открытом грунте произрастают нетребовательные к теплу и скороспелые культурные растения: листовые овощи, корнеплоды, капуста, ранний картофель. Повсеместно развиты оленеводство и охота;

- *умеренный*. Занимает большую часть территории страны: лесную, лесостепную, степную, полупустынную зоны. Суммы активных температур от северной границы пояса до южной изменяются от 1000...1200 до 4000 °С. В июне на северной границе день длится 20 ч, на южной — 15 ч. В этом поясе хорошо выражены четыре времени года. Сельское хозяйство представлено большим ассортиментом яровых и озимых культур, корнеплодов, овощей. В южной половине территории культивируют бахчевые, рис, плодовые и виноград. Развито животноводство мясо-молочного направления, требующее значительной заготовки кормов на зиму. В этом поясе выделены подпояса (через 600 °С), в которых ресурсы тепла обеспечивают созревание различных по скороспелости сортов культурных растений: от очень раннеспелых до очень позднеспелых;
- *субтропический (субтропическая природная зона на Черноморском побережье Кавказа)*. Характеризуется лишь двумя временами года — теплым и холодным. Продолжительность дня в июне — менее 15 ч, в декабре — около 9 ч. Сумма активных температур — 3500...4000 °С. Вегетация растений продолжается весь год (среднесуточная температура января — около 5 °С). Обычно собирают два урожая: в начале лета и осенью. В холодный период произрастают озимые злаковые, овощи, в теплый — субтропические однолетние и многолетние культуры (рис, табак, чай, цитрусовые, южные плодовые и др.).

Изменение увлажнения в целом тоже широтное, с севера на юг следуют зоны:

- *избыточно-влажная*, ГТК > 1,6. Это территория тундры и тайги, преимущественно на глеево-подзолистых и подзолистых почвах;
- *влажная*, ГТК = 1,6...1,3, соответствует зоне южной тайги и лиственных лесов на подзолистых почвах. В этих зонах осадки превышают испаряемость. Возможно снижение урожая из-за избытка влаги, особенно на немелиорированных землях;
- *слабозасушливая*, ГТК = 1,3...1,0, соответствует лесостепи, на серых лесных, местами черноземных почвах;
- *засушливая*, ГТК = 1,0...0,7. Это типичная степь на обыкновенных черноземах;

- *очень засушливая*, ГТК = 0,7...0,4. Сюда относится часть степной зоны на черноземах и темно-каштановых почвах. В этих районах осадки меньше испаряемости. Урожай по годам в основном изменяется в зависимости от увлажнения, поэтому необходимы агроприемы на пополнение, сбережение и экономное расходование влаги;
- *сухая*, ГТК < 0,4 — полупустынные районы на светло-каштановых почвах. Здесь испаряемость значительно превышает осадки. Земледелие возможно только при искусственном орошении и за счет стока местных вод (лиманное орошение, пединное земледелие и др.).

Кроме того, вся территория страны разделена на районы, отличающиеся по годовому ходу осадков, показателем которого служит отношение осадков теплого полугодия (апрель—октябрь) к осадкам холодного (ноябрь—март). Так, на европейской части России и на юге Западной Сибири сумма осадков теплого периода в 1,5...2 раза больше, чем холодного. На большей же части Сибири в теплое полугодие осадков выпадает в 2...3 раза больше, чем в холодное, а в Забайкалье и на Дальнем Востоке — более чем в 4 раза. В результате при одинаковой годовой сумме осадков влагообеспеченность растений будет различной. Например, малое количество осадков в холодный период обуславливает невысокий снежный покров, а следовательно, и небольшие влагозапасы в почве весной.

Степень суровости зимы на территории России увеличивается с юго-запада на северо-восток. В зависимости от значения среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха условия зимы подразделяют от «очень мягкая зима» ( $t_{\text{ср. из абс. min}} > -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до «очень суровая» ( $t_{\text{ср. из абс. min}} < -45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) на восемь типов. В соответствии с этим и с учетом критических температур растений определяют возможность перезимовки отдельных культур. В районах с очень мягкой зимой произрастают субтропические культуры, в областях с очень суровой зимой культивируют самые холодостойкие сорта семечковых и косточковых с применением специальной агротехники.

Для перезимовки озимых культур и многолетних трав с учетом их критической температуры на глубине узла кущения  $-16\text{...}-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  условия на большей части земледельческих районов благоприятные и удовлетворительные. Лишь в областях, где средний из абсолютных минимумов температуры воздуха  $< -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура на глубине узла кущения опускается ниже  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  (это восточные территории лесостепной и степной зон), и поэтому здесь достаточно велика вероятность вымерзания озимых и трав.

В дальнейшем агроклиматическое районирование проводилось как на основе общепринятых показателей, так и с использованием новых. Например, А.М. Шульгин и С.Ф. Алексеев дополнительно учитывали

характеристики климата почв (запасы продуктивной влаги, температуру почвы и др.), оценки неблагоприятных метеорологических явлений (засух, сильных морозов при бесснежье и др.).

Составной частью общего агроклиматического районирования, а во многих случаях (при включении основных агроклиматических показателей) почти тождественным ему является районирование территории по климату почвы.

Почвенный климат, будучи тесно связанным с климатом приземного слоя воздуха, имеет существенные особенности, так как формируется непосредственно в почве и находится под большим влиянием почвенного, растительного и снежного покровов, физических процессов, происходящих в самой почве, и деятельности человека. Подробно это освещено ранее (см. гл. 3, 7, 8).

А.М. Шульгиным предложена количественная характеристика основных типов климата почвы (табл. 13.1, 13.2).

Таблица 13.1

**Типизация климата почвы по режиму тепла**

Тип климата	Средняя температура почвы на глубине 20 см в теплый период, °С
Холодный	0...5
Умеренно теплый	5...10
Теплый	10...15
Весьма теплый	15...20
Жаркий	>20

Таблица 13.2

**Типизация климата почвы по режиму увлажнения**

Тип климата	Средние запасы продуктивной влаги, мм, в слое	
	0...100 см	0...20 см
Избыточно влажный	>200	>50
Влажный	150...200	30...50
Умеренно влажный	100...150	20...30
Недостаточно влажный	50...100	10...20
Сухой	<50	<10

В соответствии с этой классификацией автором была составлена схематическая карта геотермических поясов и зон увлажнения, отражающая в общем виде ресурсы почвенного климата на территории России (и бывшего СССР) в теплый период года (рис. 13.2).

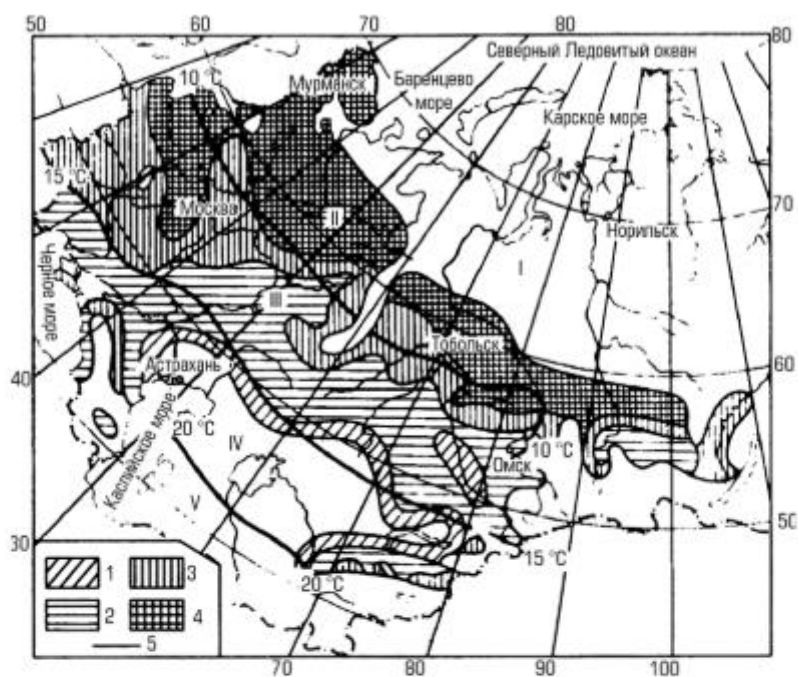


Рис. 13.2. Схематическая карта геотермических поясов и зон увлажнения (по А.М. Шульгину):

- I — недостаточно влажная зона; 2 — умеренно влажная; 3 — влажная; 4 — избыточно влажная; 5 — геотермические пояса (средняя температура почвы на глубине 20 см за теплый период): I — холодный; II — умеренно теплый; III — теплый; IV — весьма теплый; V — жаркий

Агроклиматическое районирование, впервые содержащее оценку потенциальной продуктивности умеренного пояса для зернового хозяйства, провела С.А. Сапожникова. Установленная ею зависимость урожайности зерновых культур от агроклиматических условий позволила автору оценить в баллах продуктивность (бонитет) климата (табл. 13.3).

В 1970-е и начале 1980-х гг. получило свое развитие новое направление в агроклиматологии, которое можно сформулировать как математическое моделирование агроклиматических ресурсов. Агроклиматические ресурсы было предложено оценивать с помощью физико-статистических, динамико-статистических и вероятностных (стохастических) моделей.

Таблица 13.3

**Потенциальная продуктивность зернового хозяйства в умеренном поясе, баллы**

Зоны и подзоны увлажнения	Термические подпояса		
	Умеренно теплый	Теплый	Жаркий
Влажная	3	5	10
Засушливая:			
незначительно засушливая	3	4	9
засушливая	2	4	8
очень засушливая	2	3	6

В разработке физико-статистических моделей для оценки агро-климатических ресурсов использовался предложенный П.И. Колосковым и получивший дальнейшее развитие, например, в работах Д.И. Шашко метод оценки земли по показателям потенциальной биологической продуктивности — относительным значениям *био-климатического потенциала* (БКП):

$$\text{БКП} = K_p \frac{\Sigma t_{\text{акт}}}{\Sigma t_{\text{акт. (баз)}}}, \quad (13.1)$$

где БКП — относительная величина биоклиматического потенциала;  $K_p$  — коэффициент биологической продуктивности (расчетный);  $\Sigma t_{\text{акт}}$  — сумма среднесуточных температур за период активной вегетации в данном месте, °С;  $\Sigma t_{\text{акт. (баз)}}$  — базисная сумма среднесуточных температур за период активной вегетации, т.е. сумма, относительно которой проводится сравнительная оценка, °С.

В качестве базисных сумм предложено использовать следующие: 1000 °С — для сравнения с продуктивностью на границе возможного массового полевого земледелия; 1900 °С — для сравнения со средней по стране продуктивностью, характерной для южно-таежной зоны; 3100 °С — для сравнения с продуктивностью в оптимальных условиях роста в умеренном поясе (предгорные районы Краснодарского края).

Физический смысл БКП заключается в следующем. Продуктивность экологических типов сельскохозяйственных культур при достигнутом уровне культуры земледелия определяется доступностью для растений питательных веществ, находящихся в почве. Доступность же их, с одной стороны, зависит от наличия влаги в почве, а с другой — от теплового режима, определяющего скорость биохимических реакций в процессе фотосинтеза и подготовку пищи для растений в результате деятельности микроорганизмов. Иными словами, продуктивность культур зависит в равной мере от складывающихся условий тепло- и влагообеспеченности.

Затем с помощью БКП была рассчитана биологическая продуктивность зерновых  $B_k$  (в баллах) в различных зонах относительно средней для страны продуктивности в оптимальных условиях роста. Согласно классификации Д.И. Шашко на территории России выделяется семь ареалов: от зон с очень низкой биологической продуктивностью (БКП = 0,8;  $B_k < 40$ ) до очень высокой (БКП > 3,4;  $B_k > 190$ ). Это соответствует изменению урожайности, например, зерновых от <1,1 до >5,5 т/га.

Новые возможности оценки почвенно-климатических ресурсов и биоклиматического потенциала открыли динамические модели, реализующие положения количественной теории продуктивности агроэкосистем. Впервые положения фотосинтетической теории продуктивности для оценки агроклиматических ресурсов использовал Х.Г. Тооминг, предложивший метод эталонных урожаев (см. разд. 11.5). На основе этой идеи были разработаны и положены в основу при районировании, например, комплексные модели для зерновых (А.Р. Константинов, В.П. Дмитренко, Х.Г. Тооминг), для картофеля (А.Н. Полевой и А.Н. Витченко) и других культур.

В задаче оценки агроклиматических ресурсов вполне самостоятельное направление в агрометеорологии получило использование имитационных динамических моделей. Эти модели строятся на основе математического моделирования энергомассообмена и продуктивности с учетом связей между ростом и развитием растений и режимом увлажнения, температурой и солнечной радиацией, а более сложные модели — с учетом почвенного плодородия и минерального питания (агротехники). Это, например, модели для зерновых, разработанные Р.А. Полуэктовым, Е.Е. Жуковским, О.Д. Сиротенко и др.

Основы стохастического (вероятностного) моделирования агроклиматических ресурсов заложены работами В.А. Жукова, А.Н. Полевого, А.П. Витченко, С.А. Даниелова. Практическая значимость стохастического моделирования агроклиматических ресурсов заключается в том, что потребитель на стадии принятия хозяйственных решений может располагать информацией о степени риска принятия неверного решения. Эту информацию несут в себе вероятностные характеристики поведения системы «климат — урожай» в течение всего вегетационного периода в динамике.

Параллельно с разработкой новых подходов к моделированию и оценке агроклиматических ресурсов продолжаются исследования агроклиматических условий возделывания сельскохозяйственных культур в различных регионах России с использованием традиционных методов. Например, Е.К. Зойдзе на основе разработанной им новой концепции сельскохозяйственной бонитировки климата провел сравнительные оценки сельскохозяйственного потенциала климата (СПК) по всем субъектам РФ и степени реализации их агрокли-

матических ресурсов сельскохозяйственными культурами. При реализации этой концепции было использовано более 100 показателей. Так, почвенное плодородие описывают 19 показателей, рельеф — 6, а агроклиматические условия в совокупности — 78 показателей. Их особенностью является то, что они содержат не только среднеголетние значения, но также их вероятности и обеспеченности.

Необходимо отметить, что одновременно с макроклиматическим районированием, т.е. всей территории страны, развивалось мезоклиматическое районирование — отдельных крупных регионов, таких как Алтай, Якутия, Западная Сибирь и т.д. Например, в работах Л.И. Сверловой и Л.Т. Крупской дана детальная оценка агроклиматических ресурсов Восточной Сибири и Дальнего Востока. На составленной ими карте выделены территории средней, пониженной, низкой и очень низкой продуктивности (рис. 13.3). Как можно видеть, очень низкая биологическая продуктивность земель отмечается в горных районах Камчатского края, в Магаданской области и Республике Саха (Якутия) и на равнинных территориях Севера и за Полярным кругом. Средняя продуктивность, характерная в целом для Российской Федерации, отмечается в Приморье.

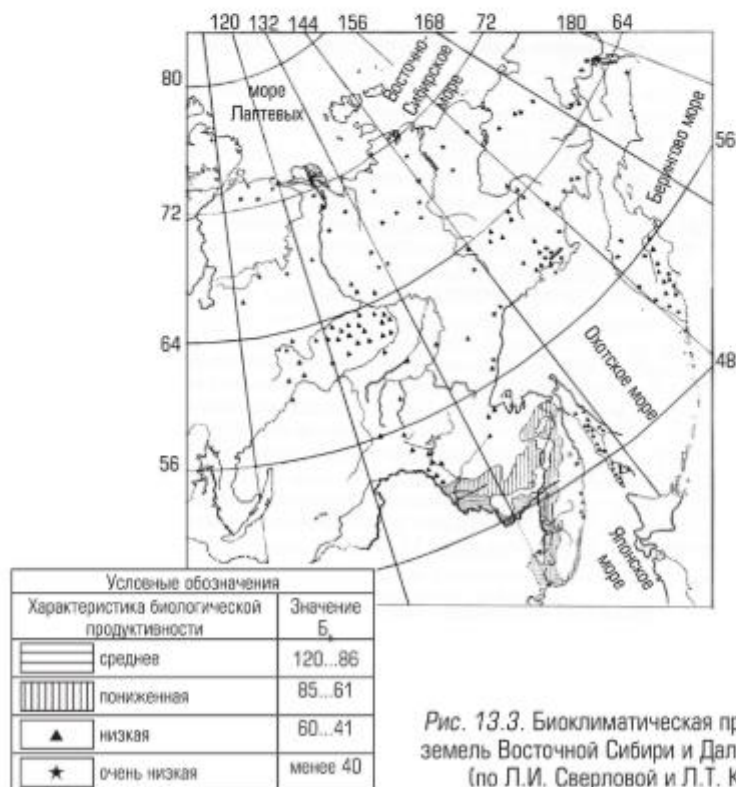


Рис. 13.3. Биоклиматическая продуктивность земель Восточной Сибири и Дальнего Востока (по Л.И. Сверловой и Л.Т. Крупской)



Большие оригинальные работы по почвенно-климатическому районированию проведены сотрудниками Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова под руководством И.А. Гольцберг.

Количественные показатели климата почвы (температуры, влажности и др.) они наносили на фоновую (почвенную) карту не изолиниями по территории, а в виде площадей с одноименными типовыми характеристиками.

В соответствии с этой новой методикой ими проведено районирование севера, северо-запада европейской территории России и ряда других регионов по тепловому режиму почв. При этом они учитывали, например, следующие показатели: дату перехода средней суточной температуры почвы на глубине 20 см через 5 и 10 °С, сумму температур почвы выше 10 °С и др. (рис. 13.4).

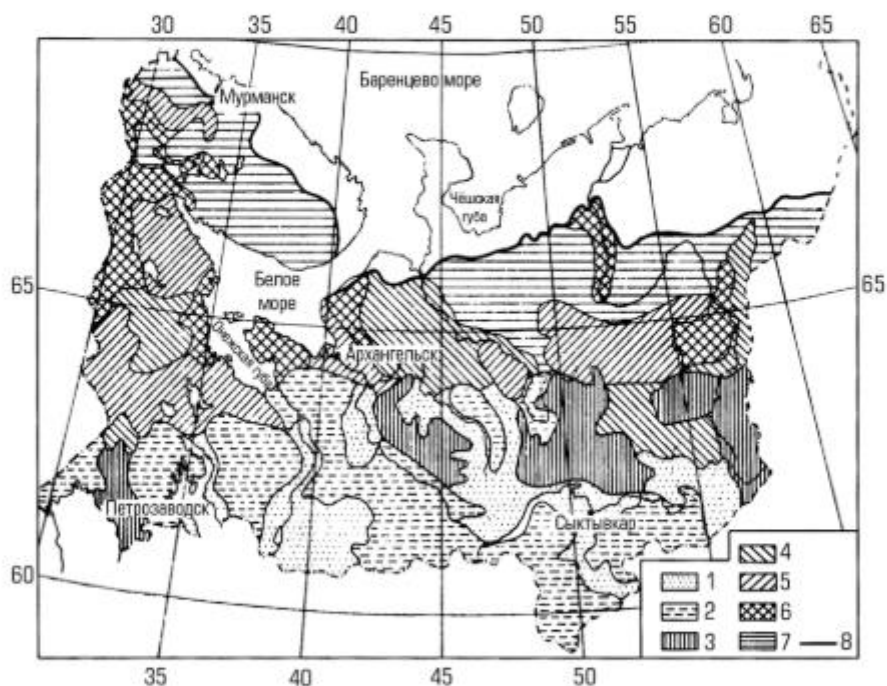


Рис. 13.4. Районирование севера европейской территории России по условиям теплообеспеченности почв (по Н.Г. Горышиной):

1 — самый теплый климат; 2 — теплый; 3 — умеренно теплый; 4 — умеренный; 5 — умеренно холодный; 6 — холодный; 7 — наиболее холодный; 8 — граница зон тундровых почв

По региональному и типологическому принципам проведено районирование почвенного климата лесостепной и степной зон Западной Сибири (Г.М. Дзюба, В.М. Кравцов), Алтайского края (С.Ф. Алексеева, А.М. Шульгин) и других территорий.

Практическое значение подобных исследований весьма велико. Они позволяют с учетом конкретных характеристик климата почвы выбирать соответствующие сорта растений, правильно размещать сельскохозяйственные культуры, регулировать агротехнические мероприятия, подбирать наиболее эффективные комплексы удобрений, управлять динамикой полевых работ.

### 13.2. ЧАСТНОЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

*Частное (специализированное) агроклиматическое районирование* проводят для установления обеспеченности ресурсами климата развития, роста, продуктивности конкретных культур (сортов), эффективности (по зонам) определенных агротехнических приемов — сроков посева, внесения минеральных удобрений, способов уборки зерновых и т.п.

Особенности этого вида районирования — детальный эколого-географический подход. Так, при районировании сельскохозяйственных культур учитываются не только, например, необходимая им сумма температур, но и их критические (высокие и низкие) температуры, вероятность повреждения опасными гидрометеорологическими явлениями, вредителями и болезнями.

Частное агроклиматическое районирование обычно проводят не по средним многолетним значениям агрометеорологических элементов, а с учетом их 80...90%-й обеспеченности.

Первыми в этом направлении явились исследования П.И. Колоскова относительно климатических условий произрастания сои и льна на Дальнем Востоке и Г.Т. Селянинова по районированию Черноморского побережья Кавказа применительно к цитрусовым культурам.

Итогом работ по частному районированию стало агроклиматическое районирование для таких культур, как виноград (Ф.Ф. Давитая), картофель (А.И. Руденко), сахарная свекла (Л.С. Кельчевская), пожнивные культуры (В.А. Смирнов), кукуруза (С.А. Сапожникова, Ю.И. Чирков) и др.

Рост урожайности сельскохозяйственных культур должен, конечно, сопровождаться повышением качества продукции.

Многочисленными исследованиями установлено, что в ареале произрастания растений образование и накопление в них различных веществ существенно зависят от климата. Например, в умеренно мягком и теплом климате при оптимальной обеспеченности растений влагой создаются благоприятные условия для образования и накопления в них сахаров, крахмала, жира, масла и т.д. При высокой температуре, значительной сухости воздуха и почвы в растениях образуются белковые вещества высокого качества.

В связи с этим агроклиматологи уделяют внимание вопросам районирования не только урожайности культур, но и качества продукции. Большие исследования в этом направлении проведены, например, Л.И. Сверловой и В.П. Краснянской для Восточной Сибири и Дальнего Востока. На основе обработки материалов по тепло- и влагообеспеченности территории и качественного состава возделываемых здесь культур ими выполнено районирование территории по химическому составу получаемой продукции. На рис. 13.5 в качестве примера представлено районирование территории по основным показателям качества зерна пшеницы. Как можно видеть, стекловидность, клейковина и содержание белка на рассматриваемой территории изменяются в 1,5...2 раза.

Самые высокие проценты этих показателей качества отмечаются в тех районах, где при достаточно высоком плодородии почв сумма

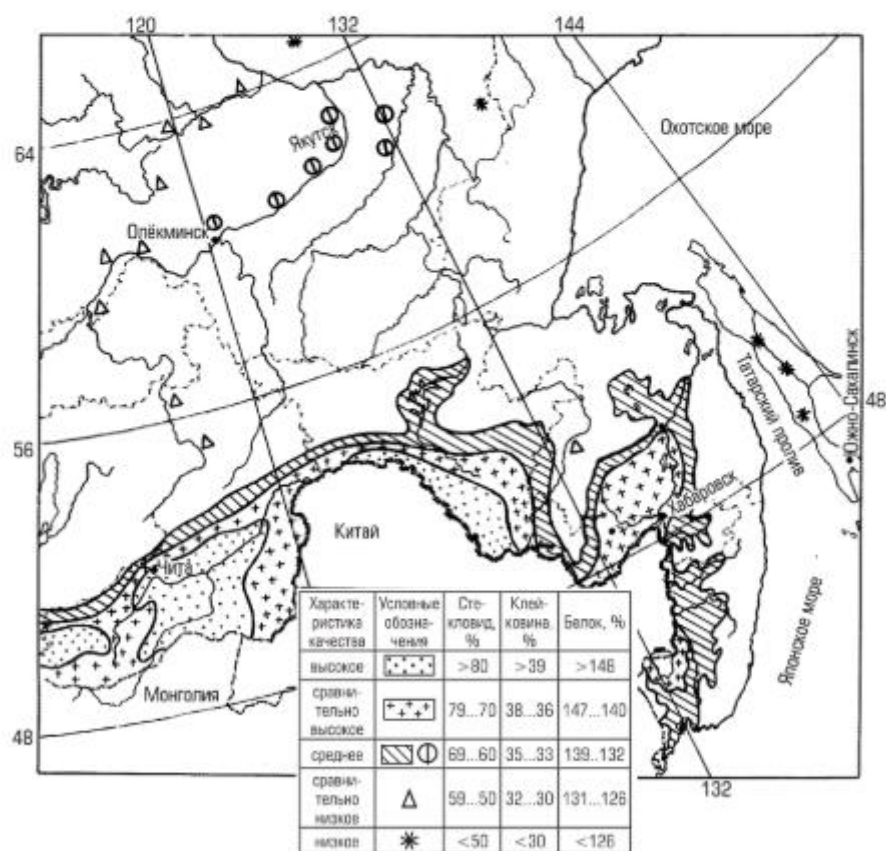


Рис. 13.5. Районирование территории Восточной Сибири и Дальнего Востока по химическому составу пшеницы (по Л.И. Сверловой)

температур выше 10 °С равна 1800...3400 °С, а показатель увлажнения ( $K_y$ ) за период вегетации равен 0,16...0,45. Такие районы, как отмечают авторы, в умеренных широтах Северного полушария считаются оптимальными для яровой пшеницы.

Известно, что погодные и климатические условия влияют на распространение болезней и вредителей сельскохозяйственных культур (см. гл. 2–5). И первым этапом при разработке системы мероприятий по защите растений от вредных организмов служат районирование территории по степени угрозы их массовых размножений, выделение ареалов и зон с различной вредоносностью патогенов и вредителей.

В связи с этим широкое распространение получило специальное агроклиматическое районирование, основанное на изучении реакции отдельных видов и географических популяций патогенов и вредителей на климатические условия, на выявление критических периодов и факторов, определяющих возможность их (вредителей и болезней) существования и развития в различных районах. Оценка климатических ресурсов с учетом этих показателей и расчет их повторяемости в отдельные годы позволяют предвидеть вероятность и частоту проявления массовых вспышек болезней и вредителей, обосновать зоны с различной их вредоносностью и определить возможные изменения в ходе этих процессов в связи с перспективами развития земледелия и селекции.

Например, карта подобного специального агроклиматического районирования (распространение линейной ржавчины пшеницы) приведена на рис. 13.6. Интегральным показателем в данном случае служит ГТК Селянинова. Районы с наиболее частым и интенсивным проявлением заболевания (4...5 лет из 10) ограничиваются изолинией ГТК 1,6; области, где эпифитотии (вспышки) болезни наблюдаются 2...3 раза в 10 лет, располагаются между изолиниями 1,6 и 1,2; территории, где заболевание проявляется не чаще 1 раза в 10 лет или не регистрировалось совсем, расположены к югу и востоку от изолинии ГТК 1,2. Эта изолиния (ГТК 1,2) практически совпадает с южной границей потенциальной вредоносности болезни.

Значительные успехи достигнуты в разработке агроклиматического обоснования агротехники (Л.С. Кельчевская, В.П. Дмитренко, З.А. Шостак, А.Н. Полевой, Н.В. Гулинова, М.Г. Лубнин, М.С. Кулик и др.). Частное агроклиматическое районирование выполнено для различных регионов по самым разным аспектам агротехники: срокам сева и посадки культур, нормам высева семян, нормам и срокам поливов и внесения удобрений и т.д. с учетом агроклиматических ресурсов. Вот лишь несколько примеров.

Интересную и важную информацию можно получить, например, с карты, представленной на рис. 13.7.

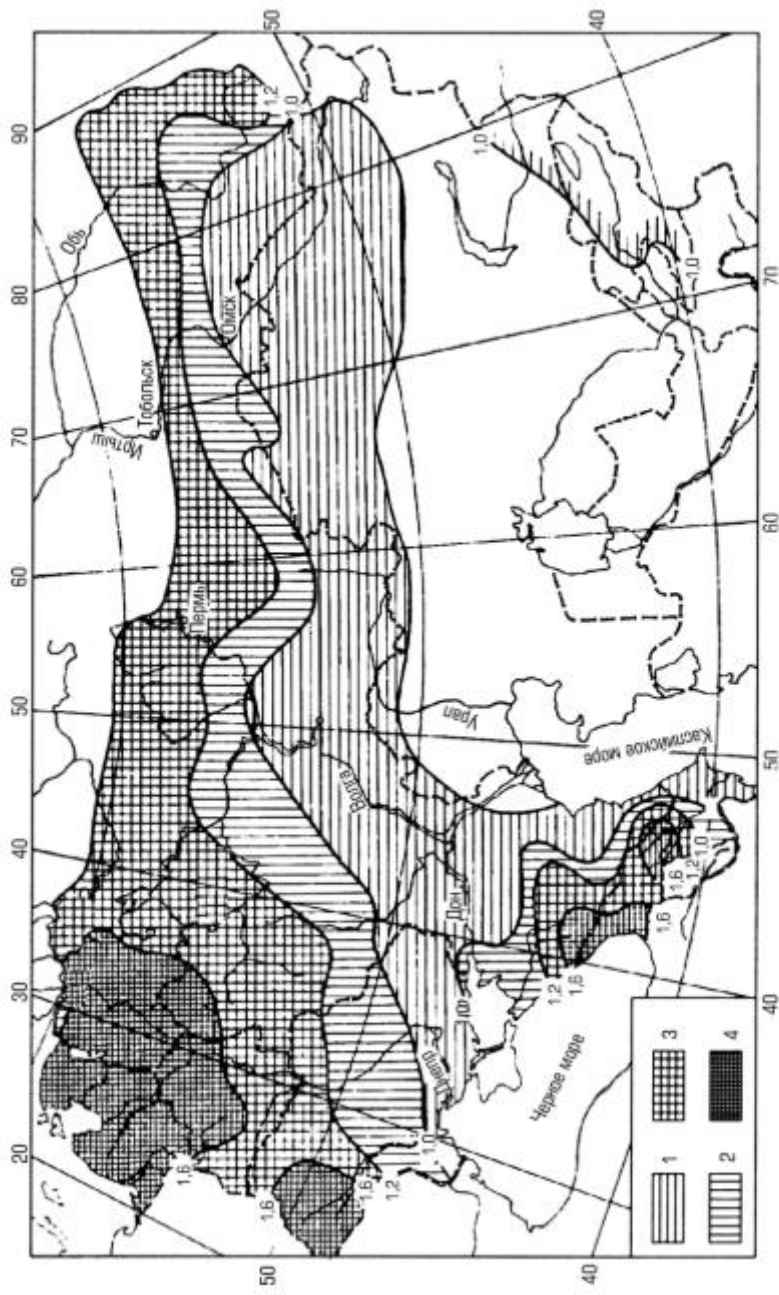


Рис. 13.6. Вероятность эпифитотий (вспышек) линейной ржавчины пшеницы (по Л.А. Макаровой и И.И. Минкевичу):  
 1 — 0...10%; 2 — 10...20%; 3 — 20...30%; 4 — 40...50%. На изолиниях даны значения ГТК

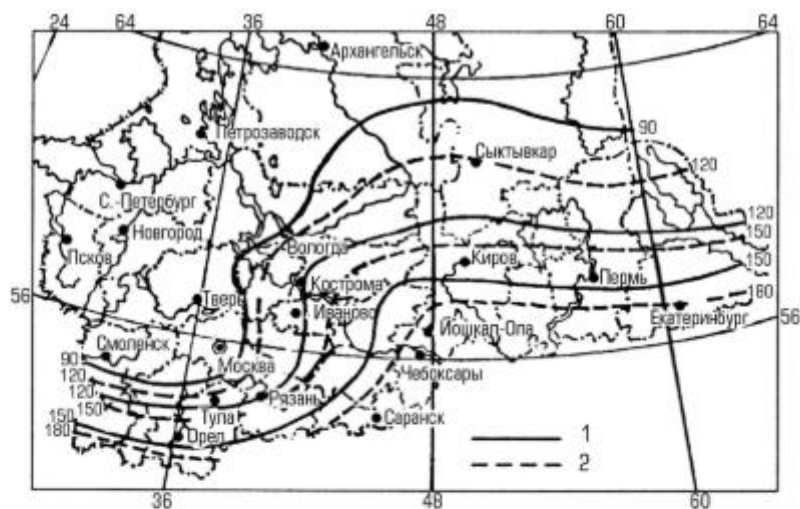


Рис. 13.7. Оросительные нормы различной обеспеченности для капусты в Нечерноземье (по Э.Г. Евтушенко), мм:  
1 — обеспеченность в 75% лет; 2 — в 95% лет

Здесь приведено районирование оросительных норм различной обеспеченности для капусты в Нечерноземной зоне. Хотя эта территория относится к зоне достаточного и избыточного увлажнения, однако и здесь почти ежегодно отмечаются кратковременные засушливые периоды, в которые требуется орошение, особенно для влаголюбивых культур, чтобы получать высокие урожаи. В частности, для капусты в южных и восточных районах зоны 9,5 лет из 10 оросительные нормы составляют 120...180 мм, или 1200...1800 т воды на 1 га.

Установлено, что эффективность внесения удобрений в большой степени зависит от особенностей агрометеорологических условий (см. гл. 2, 3, 8). Их учет позволяет повысить эффективность и экономичность использования удобрений.

На основании многолетних исследований А.П. Федосеевым выполнено специальное агроклиматическое районирование по оптимизации доз и целесообразности, например, весенней азотной подкормки озимых культур (рис. 13.8).

Как следует из рис. 13.8, с учетом агроклиматических ресурсов практически ежегодно необходима подкормка озимых в районах нечерноземной и центральной части лесостепной зоны. Далее к югу и особенно к юго-востоку по мере роста засушливости климата целесообразность подкормки снижается до 70...50% и менее (зоны 3, 4 и 5).

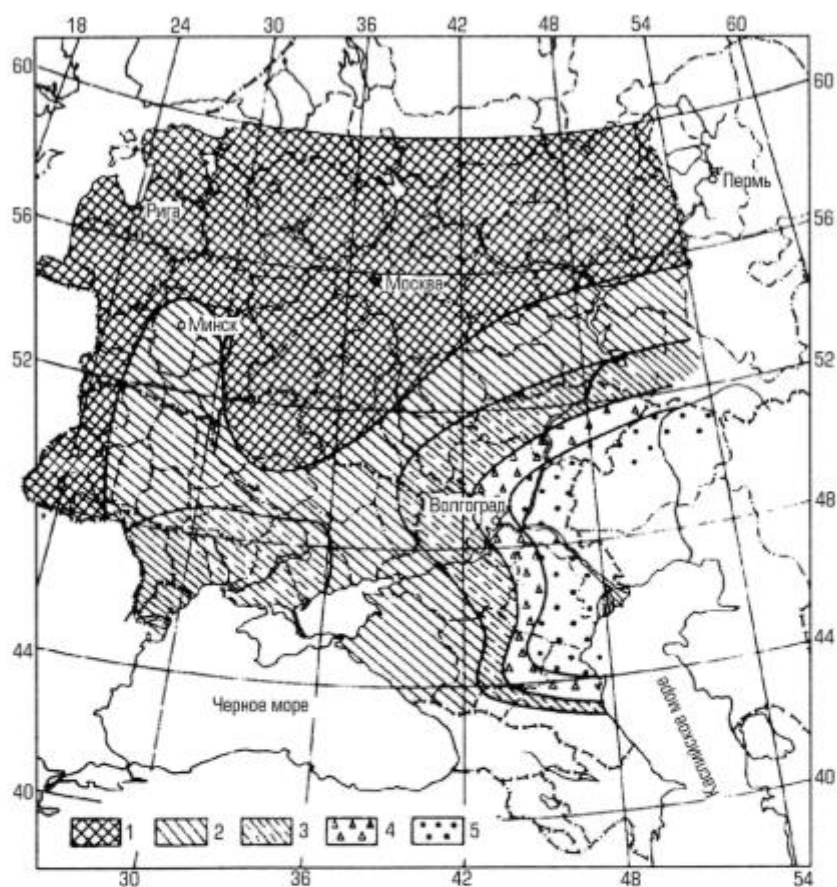


Рис. 13.8. Повторяемость лет целесообразности весенней подкормки озимых культур (по А.П. Федосееву). Зона целесообразности подкормки:  
 1 — практически ежегодно (90...100%); 2 — в большинстве лет (70...80%);  
 3 — больше половины лет (50...69%); 4 — меньше половины лет (30...49%);  
 5 — в отдельные благоприятные годы (меньше 30%)

Большой практический интерес представляет, например, также агроклиматическое районирование территории по способам уборки зерновых культур (рис. 13.9). Дело в том, что чаще всего снижение количества и качества зерна происходит при несвоевременной уборке урожая. В этой связи очень важно определение наиболее благоприятного периода и способа уборки зерновых.

Проведенные расчеты показали, что обеспеченность благоприятных агрометеорологических условий в зоне А составляет 90% лет, в Б — 70%, в зоне В — 50% и в зоне Г — 30%. С учетом продолжитель-

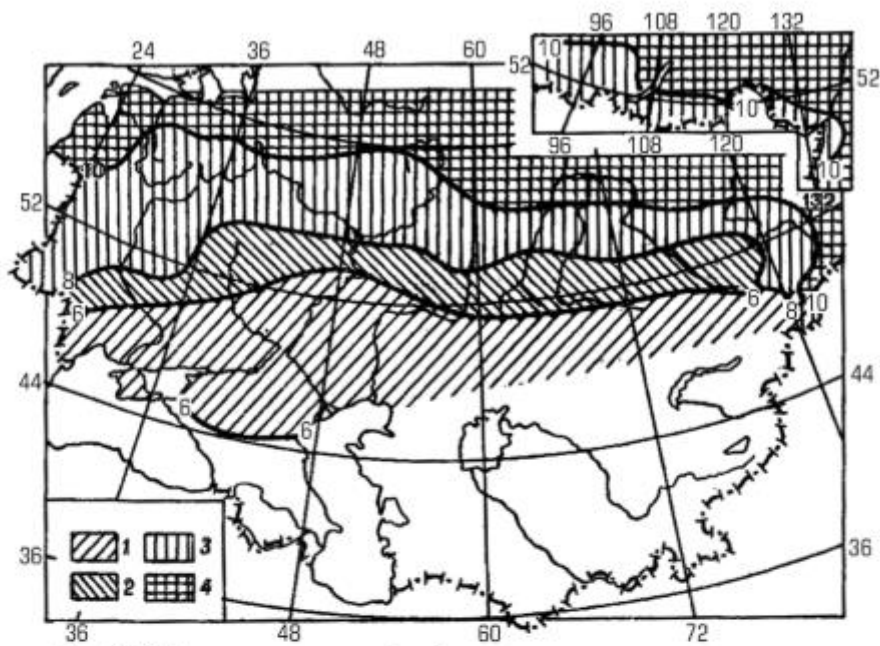


Рис. 13.9. Зоны различных способов уборки зерновых культур в зависимости от агроклиматических условий (по А.Н. Деревянко). Зоны: 1 — А, 2 — Б, 3 — В, 4 — Г. Цифры на изолиниях обозначают продолжительность просыхания валков (дни) при раздельной уборке хлебов

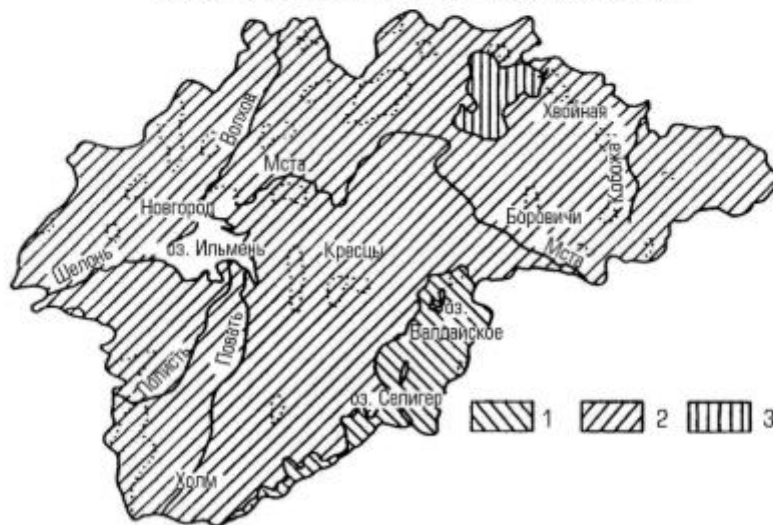


Рис. 13.10. Районирование по условиям произрастания среднеспелой капусты в мезоклиматических районах Новгородской области при средних климатических условиях (по Е.Н. Романовой и др.): 1 — оптимальные условия; 2 — пригодные; 3 — критические



ности просыхания валков раздельная уборка рекомендуется в черноземной зоне и в южных районах нечерноземной. На остальной территории нечерноземной зоны целесообразно, как показали исследования, прямое комбайнирование, особенно в северо-западных областях. Лишь в годы с благоприятными погодными условиями здесь можно проводить раздельную уборку зерновых культур.

В последнее время все большее развитие получает частное агроклиматическое районирование на основе мезо- и микроклиматических исследований. Как отмечалось ранее, существующие в регионах мезо- и микроклиматические неоднородности климатических условий весьма существенны (см. разд. 11.5), поэтому они подлежат обязательному учету при адаптации технологий растениеводства, расчетах эколого-климатического потенциала и решении целого ряда других задач, направленных на оптимизацию размещения сельскохозяйственных культур.

Основы этого направления заложены работами сотрудников Главной геофизической обсерватории. На основании многолетних экспедиционных исследований и расчетных методов ими составлены карты, таблицы, данные которых позволяют оценить агроклиматические ресурсы на мезо- и даже микроклиматическом уровне. В качестве примера на рис. 13.10 приведена карта мезоклиматического районирования Новгородской области.

Подобные разработки для сельскохозяйственного производства позволяют специалистам сельского хозяйства принимать научно обоснованные решения.

### 13.3. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ

Одной из основных задач агроклиматического районирования является выявление агроклиматических аналогов. *Агроклиматическими аналогами* называют территории, сходные по климатическим условиям существования определенных экологических групп растений и приемам земледелия. Для правильного подбора видов и сортов растений в новых для них районах возделывания надо не только применять совершенную агротехнику, но и хорошо знать климатические и почвенные условия как нового района, так и тех мест, откуда растения завозятся. Чем ближе эти условия, тем больше возможность успешной интродукции (т.е. перенос их из одних районов в другие), тем легче растения акклиматизируются.

Теория агроклиматических аналогов была разработана Н.И. Вавиловым и Ф.Ф. Давитая. Она основывается на общности основных элементов климата, необходимых для оптимального роста, развития и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. Однако, как указывал Н.И. Вавилов, полных климатических и поч-

венных аналогов не существует, поэтому проведение аналогий по общим климатическим характеристикам для сельскохозяйственного производства не достигает цели. Т.Г. Селянинов предложил находить агроклиматические аналоги для отдельных групп сельскохозяйственных культур по учету ведущих агроклиматических показателей, определяющих возможность произрастания данной культуры, особенно в так называемые ее критические периоды. Следовательно, при интродукции (переносе) сельскохозяйственных культур из одной климатической зоны в другую необходимо выявлять степень обеспеченности климатическими ресурсами потребностей этих культур в новых районах.

При использовании сравнительного метода исследований разных территорий подробно анализируют главные для этой культуры элементы климата в разные периоды ее вегетации, особенно в так называемые критические периоды. В отношении зимующих культур или вегетирующих в субтропическом поясе в холодное время года необходим анализ условий перезимовки.

Существенное значение при выявлении агроклиматических аналогов имеет также учет таких лимитирующих неблагоприятных явлений, как весенние и осенние заморозки, низкие температуры, сухие или засушливые периоды, избыток влаги.

Таким образом, детальный климато-экологический анализ позволяет устанавливать и объяснять сходство и различие агроклиматических условий для сельскохозяйственного производства.

Практика мирового и российского земледелия располагает многочисленными фактами, когда в условиях одного и того же климата возделывают разные экологические группы культурных растений и, наоборот, в совершенно различных климатах (в понимании общей климатологии) выращивают одни и те же культуры.

Так, большинство зерновых и зернобобовых культур, возделываемых в умеренном поясе (пшеница, ячмень, кукуруза, горох и др.), происходят из субтропического и тропического поясов Земли.

Например, абиссинская пшеница, произрастающая у себя на родине при средних месячных температурах около 15 °С и укладываемая в относительно короткий вегетационный период, ограниченный большим дождливым периодом, созревает под Санкт-Петербургом. Это объясняется тем, что суммы температур за вегетационный период в горных районах Эфиопии и под Санкт-Петербургом очень близки (около 1700 °С), а увлажнение достаточно в обоих местах. Основное в условиях произрастания пшеницы заключается в длительности светового дня. Но абиссинская пшеница сохраняет особенности растения длинного дня и ускоряет свое развитие при продвижении на север. Агроклиматические условия Ленинградской области также вполне обеспечивают биологические потребности

ячменя и гороха, происходящих из тех же районов Эфиопии и Аравийского полуострова. А картофель, родиной которого являются горные районы Перу и Колумбии, широко распространен в зоне умеренного климата России — агроклиматического аналога для картофеля.

Теорию агроклиматических аналогов, проверенную многократно на практике, с успехом используют в сельскохозяйственном производстве для интродукции новых перспективных культур, их сортов, и гибридов.

Агроклиматическое районирование — завершающий этап сельскохозяйственной оценки климата.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что понимают под агроклиматическим районированием? С какой целью его проводят?
2. В чем различия между общим и частным районированием?
3. Какой показатель используют при районировании территории по теплообеспеченности?
4. Перечислите термические пояса на территории России.
5. Какие показатели положены в основу районирования территории России по увлажнению?
6. Перечислите зоны увлажнения.
7. Какой показатель используют для классификации зим? Как меняется степень суровости зимы на территории страны?
8. В чем заключаются особенности частного агроклиматического районирования? Приведите примеры такого районирования.
9. Что такое агроклиматические аналоги? Приведите примеры.

## ГЛАВА 14

# АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

### 14.1. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Работы по гидро- и агрометеорологическому обеспечению народного хозяйства возглавляет Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Росгидромету подчинены межрегиональные территориальные управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС), Гидрометцентр России, региональные гидрометцентры, Главный радиометеорологический центр (ГРМЦ), Метеоагентство Росгидромета для организации специализированного гидрометеорологического обеспечения (СГМО) потребителей и другие организации. Кроме того, в составе Росгидромета работают научно-исследовательские институты (Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ВНИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных, ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии, Центральное конструкторское бюро гидрометеорологического приборостроения и др.), научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета».

Территориальные УГМС руководят работой областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, местных обсерваторий, а также наблюдательных гидро- и агрометеорологических станций и постов.

Главная задача гидрометеорологического обеспечения — регулярное оказание всесторонней помощи сельскохозяйственному производству в наиболее полном и рациональном использовании климатических и погодных условий с целью получения высоких устойчивых урожаев.

Особенностью сельского хозяйства, принципиально отличающей его от других сфер производства, является чрезвычайно сильная зависимость от метеорологических факторов. По некоторым оценкам из всех потерь, которые наносят хозяйству страны неблагоприятные погодные условия, на сельское хозяйство приходится около 65%. Около половины этих потерь на сегодняшний день можно предотвратить и устранить с помощью соответствующих агротехнических приемов.

Успешность применения любых систем земледелия и агротехнических приемов определяется тем, насколько эффективно удастся бороться с опасными метеорологическими явлениями — засухой, заморозками, градобитиями и т.д., и тем, насколько полно используются в процессе формирования урожая имеющиеся почвенно-климатические ресурсы: свет, тепло, влага и питательные элементы.

Увеличение продуктивности земледелия требует тщательного учета метеорологических факторов при принятии хозяйственных решений на всех уровнях:

- при составлении долгосрочных проектов повышения почвенного плодородия, проектировании мелиоративных сооружений, районировании производства и т.д.;
- планировании агротехнических мероприятий на предстоящий вегетационный период;
- оперативном управлении технологическими процессами и дифференцированном применении агротехнических приемов в соответствии со складывающимися и ожидаемыми (прогнозируемыми) условиями в период вегетации.

При районировании сельскохозяйственного производства, составлении проектов землеустройства, мелиорациях и принятии других решений, последствия реализации которых сказываются в течение длительного времени, основное значение имеет агроклиматическая информация. Причем, используя ее, важно учитывать не только средние многолетние значения гидро- и агрометеорологических элементов, но и их вероятностные характеристики. Наличие вероятностной информации позволяет выбрать из нескольких допустимых хозяйственных решений оптимальное.

При планировании агротехнических мероприятий на предстоящий период вегетации существенное значение приобретают информация о складывающихся агрометеорологических условиях и долгосрочные агрометеорологические прогнозы.

Наконец, на этапе оперативного управления производственным процессом дифференциация агротехнологии осуществляется по результатам текущих наблюдений за состоянием посевов и гидрометеорологических условий.

Существенное значение для планирования отдельных оперативных работ имеют краткосрочные прогнозы погоды и отдельных ее элементов, а также штормовые предупреждения об ожидаемых опасных для сельского хозяйства метеорологических явлениях.

Вся информация, необходимая для решения перечисленных выше и других хозяйственных задач, собирается на сети станций и постов при наземных и авиационных, визуальных и инструментальных наблюдениях, а также с помощью искусственных спутников Земли.

#### 14.2. ОСНОВНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ПРОВОДИМЫЕ НА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОСТАХ

Основную гидрометеорологическую и агрометеорологическую информацию, которая может интересовать агронома и других руководителей хозяйств, можно получить на ближайшей гидрометеорологической (агрометеорологической) станции или посту.

Государственная гидрометеорологическая сеть станций и постов предназначена для изучения гидрометеорологических условий и режима погоды на территории России. С этой целью ведут различные наблюдения и работы, необходимые:

- для обеспечения регулярной информацией учреждений Росгидромета о текущем состоянии погоды, об опасных гидрометеорологических явлениях, а также для составления кратко- и долгосрочных метеорологических, гидрологических и агрометеорологических прогнозов и расчетов;
- изучения метеорологического, гидрологического и агрометеорологического режимов территорий и составления различных обобщений (ежегодники, справочники, атласы, описания и др.);
- проведения научных исследований в области метеорологии, гидрологии и агрометеорологии, особенно для разработки методов прогнозов и расчетов.

В зависимости от профиля выполняемых наблюдений и работ все гидрометеорологические станции и посты подразделяют по видам (метеорологические, аэрологические, гидрологические, болотные, снеголавинные, агрометеорологические и др.), а в зависимости от объема наблюдений и работ — по разрядам (I, II, III).

На *метеорологических* станциях ведут круглосуточные наблюдения за погодой.

На *аэрологических* станциях измеряют температуру и влажность воздуха, скорость ветра на больших высотах.

На *гидрологических* станциях изучают гидрологический режим водных объектов; на водно-балансовых станциях ведут наблюдения за составляющими водного баланса и изучают их взаимосвязи в различных физико-географических районах как в естественных условиях, так и после проведения различных агротехнических и лесомелиоративных работ.

На *болотных* станциях проводят наблюдения за всеми элементами водного и теплового режимов крупных болотных массивов, а также исследуют влияние на эти режимы мелиоративных мероприятий и торфоразработок.

*Агрометеорологические* станции являются специализированными исследовательскими станциями, планомерно и всесторонне изучающими агрометеорологические условия и их влияние на сельскохозяйственное производство с учетом его специализации в различных почвенно-климатических зонах.

Основным принципом агрометеорологических наблюдений является сопряженность (параллельность) наблюдений за погодой, с одной стороны, и за развитием, ростом и состоянием сельскохозяйственных растений, с другой.

**Метеорологическая часть** включает круглосуточные измерения радиационного баланса и его составляющих, температуры и влажности воздуха, температуры почвы, скорости и направления ветра, осадков. Кроме того, постоянно наблюдают за облачностью, атмосферными явлениями (туман, гололед, изморозь, метель и др.). В зимний период определяют глубину промерзания почвы и высоту снежного покрова.

**Агрометеорологическая часть** состоит из следующих наблюдений и определений.

В *теплый период* на полях с посевами: проводят фенологические наблюдения; определяют густоту посевов, засоренность и зараженность посевов, повреждения растений неблагоприятными метеорологическими явлениями (заморозками, суховеями, градом и др.); наблюдают за формированием элементов продуктивности и определяют структуру урожая сельскохозяйственных культур; наблюдают за полеганием посевов, влажностью соломы, зерна и его прорастанием при неблагоприятных условиях уборки, за проведением полевых работ с оценкой их качества и влияния на них погодных условий, за влажностью почвы на полях севооборота (визуально и с помощью инструментальных измерений).

*Зимой* ведут наблюдения: за температурой почвы на глубине ула кушения; глубиной промерзания почвы под культурами; высотой и плотностью снежного покрова на полях с зимующими культурами и в садах; состоянием (жизнеспособностью) растений.

У озимых и многолетних трав для этого один раз в месяц, начиная с конца декабря, вырубая монолиты и помещают их в ящики, которые устанавливают в теплом светлом помещении. После оттаивания монолитов определяют внешний вид и фазу развития растений. Через 15 сут. подсчитывают число живых и погибших, не давших отрастания растений и определяют процент погибших растений. Это стандартный метод определения жизнеспособности. Есть и другие методы, такие как: метод ускоренного отращивания растений в воде; метод определения жизнеспособ-

ности растений по окраске тканей узлов кущения после обработки кислым фуксином; морфобиологический метод определения состояния конуса нарастания по его цвету и степени тургора. Наиболее надежные и оперативные результаты дает тетразолиевый метод, основанный на обработке тканей препаратом трифенилтетразолий хлористый.

У плодовых культур через 5...7 сут. после сильных морозов ( $-25...-30$  °С в центральных и северных районах и  $-17...-25$  °С — в южных) срезают одно- и двулетние ветки и ставят в сосуд с теплой водой на 20...25 сут. Затем подсчитывают общее число почек на ветке, а также число набухших и распутившихся. Нераспутившиеся почки считают поврежденными (на срезе они имеют бурую или желтоватую окраску). При этом, также по окраске среза, определяют степень повреждения древесины.

Кроме того, оценивают состояние зимующих культур перед уходом их в зиму и после перезимовки на больших площадях. Обследование сельскохозяйственных угодий выполняют путем визуальных наблюдений за общим состоянием посевов, степенью их повреждения в результате неблагоприятных погодных условий, фенологическим развитием. При обследовании также измеряют инструментальными методами высоту и зеленую биомассу растений. Наблюдения выполняют обычно по предварительно разработанному маршруту с применением автотранспорта, авиации или другой техники. Весеннее обследование озимых зерновых и многолетних трав проводят через 10 сут. после возобновления вегетации, плодовых культур — после их массового зацветания.

Результаты наблюдений после их первичной обработки и контроля на станциях передают по специальным каналам в межрегиональные территориальные УГМС и их областные и краевые оперативно-производственные сетевые организации, а оттуда — в Гидрометцентр России.

Основные принципы организации и методы проведения всех видов гидро- и агрометеорологических наблюдений и связанных с ними работ, а также методы обработки результатов наблюдений, выполняемых станциями, постами и учреждениями Гидрометслужбы, регламентируются руководящими документами (РД). В зависимости от содержания существуют следующие виды РД: положения, наставления, методические указания, коды, инструкции и др. РД разрабатывают ведущие ученые и специалисты в данной области знания, апробируют, рецензируют и после одобрения Центральной методической комиссией вводят в действие на сети.



### 14.3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ФОРМЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Оперативные подразделения Росгидромета совместно с Гидрометцентром регулярно осуществляют гидрометеорологическое обеспечение сельскохозяйственного производства материалами, основные из которых следующие:

- метеорологические прогнозы различной заблаговременности — на 30 сут., 5...7, 3, 1 сут.;
- гидрологические прогнозы (прогнозы режима вод рек, водохранилищ и других водных объектов);
- агрометеорологические прогнозы (см. гл. 15);
- предупреждения об опасных гидрометеорологических явлениях;
- информация о текущих агрометеорологических условиях и их влиянии на перезимовку, рост, развитие и формирование урожая сельскохозяйственных культур и трав, на проведение полевых работ;
- рекомендации по дифференцированному применению агротехнических мероприятий в зависимости от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий;
- режимная, или агроклиматическая, информация.

Существуют следующие основные формы обеспечения потребителей агрометеорологической информацией:

- агрометеорологический бюллетень. Это периодическое специализированное издание (ежедневное, декадное, месячное, сезонное), содержащее анализ и оценку сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий на конкретной территории за сутки, неделю, декаду, месяц, сезон. Информацию об ожидаемых агрометеорологических условиях на ближайший период иногда приводят в вероятностном изложении в сравнении с климатическими данными;
- обзор агрометеорологических условий за сельскохозяйственный год;
- агрометеорологические ежегодники (издаются ежегодно за предыдущий год);
- пятилетние данные «Агрометеорологические условия формирования урожая сельскохозяйственных культур» по территориям (издаются 1 раз в 5 лет);
- агрометеорологические справки, рекомендации и устные консультации;
- выступления по радио, телевидению, публикации агрометеорологических обзоров в газетах, в Интернете.

Агроклиматическую информацию приводят в форме климатических и агроклиматических справочников, карт, атласов, монографий.

Например, имеются агроклиматические справочники и монографии об агроклиматических ресурсах по всем областям, краям и республикам. Кроме того, существуют такие издания, как «Агроклиматический атлас мира», «Агроклиматические ресурсы СССР», «Атлас запасов продуктивной влаги в почве» и др. Все материалы, кроме атласов и монографий, издаются 1 раз в 20 лет.

Вся эта обширная, многоплановая гидро- и агрометеорологическая информация в той или иной форме может быть использована для решения различных сельскохозяйственных задач. Пример такого целевого использования информации представлен на рис. 14.1.

Необходимо отметить, что система агроклиматического и агрометеорологического обеспечения народного хозяйства пока еще в значительной степени ориентирована на высшие эшелоны исполнительной власти страны, администрацию субъектов РФ, районные агропромы и крупные сельскохозяйственные подразделения. Между тем имеющийся научный потенциал, компьютерные технологии и информационные базы позволяют реализовывать также идею оказания индивидуальных (адресных) услуг (советы, рекомендации, оповещения и др.) непосредственно производителям сельскохозяйственной продукции. Обслуживание предприятий среднего и малого бизнеса (совхозы и колхозы, фермерские хозяйства, кооперативы, биржи, страховые компании, предприятия по переработке продукции сельского хозяйства и пр.) способствует адаптации аграрного сектора экономики Российской Федерации к рынку.

Перевести решение задач в агропромышленном комплексе на новую качественную основу позволяет применение компьютерных географических информационных систем (ГИС) — современные информационные технологии для картографирования и анализа различных объектов. Применение ГИС-технологий возможно на федеральном, региональном и локальном (внутрихозяйственном) уровнях (рис. 14.2).

С внедрением в сельскохозяйственное производство прецизионных технологий выращивания полевых культур, так называемых технологий точного земледелия, необходимо картирование на электронных носителях. Электронные карты с базами данных, средствами функционирования ГИС и программным обеспечением являются основой для микроклиматического картирования земель с оценкой климатически обеспеченной продуктивности каждого поля или ландшафтной фации. Это вместе с макро- и микроагротехнологическим и агрофизическим картированием создает информационную базу данных не только для выработки управленческих и хозяйственно-экономических решений, но и для их технологического и технического исполнения современной сельхозтехникой, оснащенной

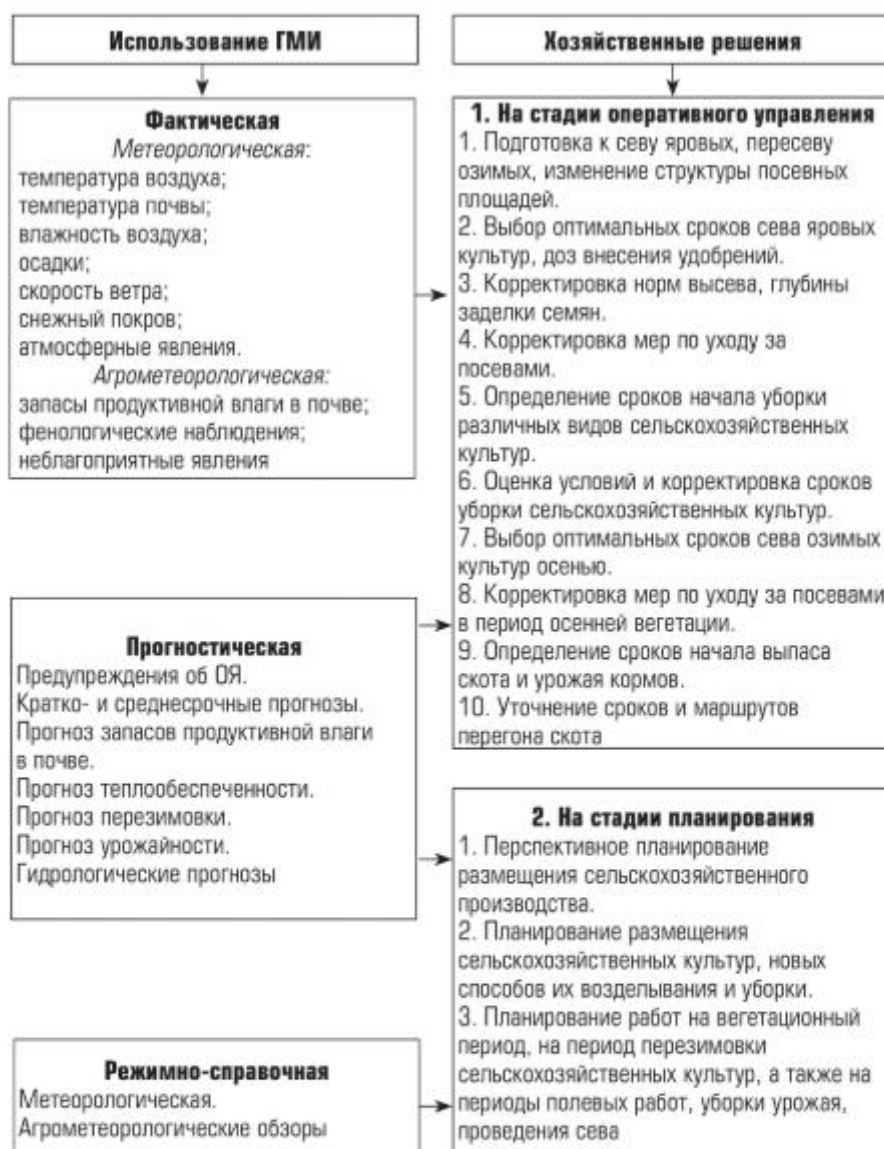


Рис. 14.1. Схема применения гидрометеорологической информации в сельскохозяйственном производстве



Рис. 14.2. Схема функционирования ГИС в сельском хозяйстве

полуавтоматическими информационно-управляющими компьютерными бортовыми системами.

Достоинством геоинформационных систем является также возможность создания диалоговых справочно-консультативных систем. Например, во ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии разработана автоматизированная информационно-справочная система по агроклиматическим ресурсам (АИССАР), реализуемая по всем субъектам РФ.

Эта система позволяет в оперативном режиме:

- оценить сложившуюся погодную ситуацию декады, межфазного периода или вегетационного периода в целом применительно к конкретной культуре или комплексу культур в хозяйстве, районе или области;
- дать прогноз наиболее вероятного развития погодной ситуации к конкретной культуре и возможного снижения урожайности в случае появления того или иного неблагоприятного погодного явления;
- оценить природно-потенциальный ресурс применительно к возделыванию основных сельскохозяйственных культур в любом масштабе (области, района, хозяйства) (рис. 14.3);
- рассчитать оптимальную структуру посевных площадей;
- проводить мониторинг за основными агроклиматическими показателями (тепло-, влагообеспеченность, условия перезимовки, условия полевых работ, неблагоприятные явления);
- выдавать различную агрометеорологическую и агроклиматическую характеристику, в том числе и экономическую. В современных условиях рынка, когда речь идет о продаже и покупке



Рис. 14.3. Почвенно-климатическая урожайность картофеля на полях ЗАО «Рождествено» (по А.В. Гордееву)

земли, основным показателем при формировании цен служит агроклиматическая информация.

Своевременное получение и правильное использование гидрометеорологической и агрометеорологической информации способствуют увеличению доходов хозяйств при благоприятно складывающихся погодных условиях и снижению потерь при неблагоприятных ситуациях.

Разработкой методов оценки экономической эффективности гидрометеорологической информации занимались многие ученые (М.О. Ольшанский, А.М. Обухов, А.С. Монин, А.П. Федосеев, Е.Е. Жуковский и др.).

Основные принципы оценки экономической эффективности заключаются в том, что она обычно осуществляется в несколько этапов.

На этапе планирования определяют предварительный, или потенциальный, эффект. Он показывает экономический потенциал, содержащийся в законченных, но еще не внедренных научно-технических решениях, и определяет целесообразность их внедрения. По результатам внедрения вычисляют фактическую экономическую эффективность.

Для расчета экономической эффективности от использования гидрометеорологической информации в агропромышленном комплексе можно использовать методические рекомендации, разработанные, например, во ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии. Экономическая эффективность при учете различных видов гидрометеорологической информации:

$$\text{ЭЭ} = K_y S(\Delta Y \text{Ц} - Z), \quad (14.1)$$

где  $K_y$  — коэффициент долевого участия гидрометеорологической информации в полученном экономическом эффекте (обычно  $K_y = 0,2 \dots 0,5$  в зависимости от вклада доли информации);  $S$  — площадь, на которой достигнуто повышение урожайности, га;  $\Delta Y$  — прибавка урожая благодаря внесению удобрений, поливам и другим мероприятиям, проведенным в соответствии с прогнозами и рекомендациями агрометеорологов, т/га;  $\text{Ц}$  — закупочная цена на данную культуру, руб./т;  $Z$  — затраты на проведение агротехнических мероприятий плюс затраты на уборку дополнительной продукции, руб./га.

Еще один показатель экономической эффективности от использования гидрометеорологической информации — предотвращенный ущерб, обусловленный заблаговременностью доведенного до потребителя прогноза о наступлении неблагоприятных или опасных для сельскохозяйственного производства явлений, таких как заморозки, засухи, обильные осадки, сильный ветер и др., и осуществление необходимых мер защиты.

На современном этапе, когда большинство агрометеорологических задач решают на основе математического моделирования продукционного процесса и привлечения спутниковой информации, появляются новые возможности интерпретации агрометеорологической информации. Численные эксперименты с помощью моделей позволяют выделить влияние любого фактора в любом спектре его воздействия. В результате можно оценить экономическую эффективность оптимизации объемов и сроков орошения, выбора оптимальных сроков и объемов обработки посевов в целях борьбы с вредителями, вариантов размещения культур, структуры посевных площадей. Например, по исследованиям В.А. Жукова и С.А. Даниелова оптимальный вариант структуры посевных площадей для Нечерноземной зоны предусматривает расширение площадей под ячменем, яровой и озимой пшеницей и их сокращение под озимой рожью и овсом. При реализации этого варианта валовой сбор будет обладать

наименьшей изменчивостью, вызванной естественными колебаниями погоды. Прибавка валового сбора зерновых при этом составит ежегодно от 0,16 млн до 3,46 млн т.

Таким образом, в нашей стране накоплены обширная и во многом уникальная справочная и методическая литература, многоплановая статистическая информация по вопросам учета погоды и климата в сельском хозяйстве. Важно умело и конструктивно использовать имеющуюся информацию.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Расскажите о принципе, положенном в основу агрометеорологических наблюдений.
2. Какие виды наблюдений проводят на агрометеорологических станциях и постах?
3. Какую информацию дают авиационные обследования посевов?
4. Перечислите основные виды и формы агрометеорологического обслуживания сельскохозяйственного производства.
5. В какой форме можно получить агрометеорологическую информацию?
6. Какие новые информационные системы используют в сельскохозяйственном производстве?
7. Как можно использовать агроклиматическую и агрометеорологическую информацию в практике сельского хозяйства?
8. Как рассчитывается экономический эффект от использования агрометеорологической информации?

Одним из важнейших видов агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства являются *агрометеорологические прогнозы* — научные предсказания изменений агрометеорологических условий и их влияния на состояние биологических объектов, а также на процессы сельскохозяйственного производства.

Научной основой агрометеорологических прогнозов являются обоснованные и количественно выраженные многофакторные зависимости роста, развития биологических объектов или процессов от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий.

При разработке методов агрометеорологических прогнозов основное внимание уделяется выбору из всего комплекса агрометеорологических условий наиболее значимых и *лимитирующих факторов*, определяющих конечный результат. При этом в первую очередь учитываются так называемые *инерционные факторы*, т.е. факторы, медленно изменяющиеся во времени, но во многом обуславливающие состояние сельскохозяйственных объектов. К инерционным факторам относятся, например, запасы продуктивной влаги, число растений на единице площади, площадь листовой поверхности, число колосков и зерен в колосе и др. Так, если в период закладки колоса образовалось мало колосков и зерен, то даже при дальнейших оптимальных условиях роста и развития зерновых культур их число не увеличится и хорошего урожая не будет.

Для выбора инерционных факторов (предикторов), оказывающих влияние на прогнозируемую переменную, используются корреляционный и регрессионный анализ.

Исходными данными для агрометеорологических прогнозов служат сопряженные наблюдения за метеорологическими условиями и состоянием посевов в текущем году, проводимые на сети агро- и гидрометеостанций и постов, долгосрочные прогнозы погоды, агроклиматические справочники и атласы.

При необходимости используют данные Госкомстата, например, об урожайности и валовом сборе сельскохозяйственных культур, о размерах площадей гибели озимых зерновых культур и многолетних сеяных трав и т.д.

От точности исходной информации в значительной мере зависят качество прогнозов и их оправдываемость. Поэтому на сети станций и постов нередко проводят дополнительные наблюдения по специальным программам, а также маршрутные наземные и авиационные



обследования состояния посевов на больших площадях, существенно дополняющие информацию метеорологических станций.

Заблаговременность агрометеорологических прогнозов составляет, как правило, не менее одного месяца, достигая в отдельных случаях двух и даже трех месяцев.

Оправдываемость агрометеорологических прогнозов чаще всего достаточно высокая (80...90% и более), так как при их составлении учитывают исходное состояние посевов, сложившиеся фактические агрометеорологические условия на дату составления прогноза и наиболее важные инерционные факторы, сохраняющие свое влияние длительное время.

Агрометеорологические прогнозы составляют в основном в Гидрометцентре, межрегиональных управлениях и областных центрах Росгидромета.

Работу по развитию и совершенствованию методов агрометеорологических прогнозов ведут в Научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии, Российском научно-исследовательском гидрометеорологическом центре и ряде других научно-исследовательских учреждений системы Росгидромета. По результатам этой работы издаются тематические сборники «Методы агрометеорологических прогнозов».

Следует иметь в виду, что методы агрометеорологических прогнозов не являются универсальными. Каждый метод может быть, как правило, применен только для определенных климатических зон, почвенных условий, сортов и т.п. В то же время прогнозирование одних и тех же величин может быть осуществлено различными методами.

Агрометеорологические прогнозы по содержанию можно подразделить на пять основных групп: прогнозы агрометеорологических условий; фенологические; состояния зимующих культур весной; урожайности основных сельскохозяйственных культур, трав и качества урожая; эффективности отдельных агротехнических и мелиоративных мероприятий.

Не имея возможности изложить в данном учебнике все методы существующих прогнозов, рассмотрим те из них, которые характерны для каждой группы и которые успешно применяют в сельскохозяйственном производстве.

### **15.1. ПРОГНОЗЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

**Прогноз теплообеспеченности вегетационного периода.** Как отмечалось в гл. 11, на большей части сельскохозяйственных районов России в отдельные годы суммы активных температур могут отклоняться на  $\pm 400...600$  °С. Поэтому в годы с большим недобором тепла

некоторые культуры не успевают завершить свою вегетацию, и в такие годы необходимо высевать более скороспелые культуры (сорта, гибриды). При большой положительной аномалии тепла целесообразно расширение посевов пожнивных культур или более теплолюбивых сортов.

В связи с этим в практике агрометеорологического обслуживания очень важным является составление прогноза теплообеспеченности. Надежный долгосрочный прогноз теплообеспеченности вегетационного периода может быть использован: при определении посевных площадей под те или иные сельскохозяйственные культуры и их сорта, различные по скороспелости; определении сроков и норм высева, сроков уборки урожая и заготовки кормов; планировании и принятии многих оперативно-хозяйственных решений в процессе сельскохозяйственного производства.

Метод прогноза разработан Ф.Ф. Давитая и основан на связи сумм активных температур с датой устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ . Чем раньше наступит эта дата, тем бóльшая сумма температур накопится за период активной вегетации.

В общей форме уравнение этой связи имеет вид:

$$\Sigma t_{>10^{\circ}\text{C}} = a - bD, \quad (15.1)$$

где  $\Sigma t_{>10^{\circ}\text{C}}$  — прогнозируемая сумма активных температур,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $a$  и  $b$  — числовые коэффициенты, зависящие от места расположения района (станции);  $D$  — дата весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через  $10^{\circ}\text{C}$ , выраженная числом дней от 01.03 или 01.04 в зависимости от того, на какой месяц приходится самая ранняя дата перехода температуры через  $10^{\circ}\text{C}$ .

Недостаток этого метода — неучет ранних осенних заморозков, в результате чего развитие культуры может прекратиться, хотя последующий теплый период дает формальное основание считать, что прогноз в целом оправдался и растения развивались весь период.

Разработка новых подходов, например синоптико-статистического, для решения задачи долгосрочного прогнозирования теплообеспеченности вегетационного периода активно ведется в Институте сельскохозяйственной метеорологии (И.Г. Грингоф, В.М. Лебедева и др.).

**Прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу вегетационного периода.** Этот прогноз составляют для районов недостаточного и неустойчивого увлажнения, где к концу осени влагозапасы часто гораздо ниже наименьшей влагоемкости. Данный прогноз позволяет выбрать способы предпосевной обработки почвы, наметить сроки

сева яровых культур, а также определить, какие культуры следует высевать в этом году. Например, при небольших влагозапасах целесообразно высевать более засухоустойчивые культуры (ячмень, просо и др.).

Методика прогноза, разработанная Л.А. Разумовой, основана на зависимости весенних запасов влаги в почве от осенних запасов и количества осадков за осенне-зимний период.

Ожидаемые запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см

$$W_{\text{вес}} = W_{\text{ос}} + \Delta W, \quad (15.2)$$

где  $W_{\text{ос}}$  — влагозапасы в слое 0...100 см на дату последнего их определения (перед замерзанием почвы), мм;  $\Delta W$  — изменение влагозапасов за период от даты последнего определения влажности почвы осенью до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$  весной.

Изменение влажности почвы зависит, как установила Л.А. Разумова, от дефицита влажности почвы осенью и количества осадков. Для районов с глубоким залеганием грунтовых вод при устойчивой зиме эту связь выражают уравнением

$$\Delta W = 0,11r + 0,56d - 20, \quad (15.3)$$

при неустойчивой зиме

$$\Delta W = 0,21r + 0,62d - 33, \quad (15.4)$$

где  $r$  — количество осадков за период от даты последнего определения влажности почвы осенью до даты составления прогноза (фактические данные) и от даты составления прогноза до даты перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$  (по долгосрочному прогнозу), мм;  $d$  — дефицит влажности в слое почвы 0...100 см осенью (т.е. разность между наименьшей влагоемкостью и фактическими запасами продуктивной влаги), мм.

По долгосрочному прогнозу весной определяют дату перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$ . Если в долгосрочном прогнозе недостаточно данных, то используют материалы агроклиматических справочников (т.е. средние многолетние данные).

Разработаны прогнозы запасов продуктивной влаги в почве и для различных периодов вегетации разных культур (С.А. Вериги, Л.А. Разумова, Л.С. Кельчевская, Е.С. Уланова, А.С. Конторщиков и др.).

К этой группе прогнозов (агрометеорологических условий) можно отнести также прогнозы оптимальных сроков начала полевых работ и сева зерновых культур (Л.К. Пятовская, Е.С. Уланова, А.Н. Деревянко), прогноз полегания зерновых культур (А.Д. Пасечнюк) и др.

## 15.2. ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

**Прогноз сроков наступления основных фаз развития сельскохозяйственных культур.** Эта группа прогнозов также имеет большое практическое значение. Например, сведения об ожидаемых сроках цветения плодовых культур дают возможность своевременно провести необходимые агротехнические мероприятия по уходу за садами весной (борьба с вредителями и болезнями, защита от заморозков, подготовка и доставка пчелиных семей в сад и др.). Прогноз сроков наступления восковой спелости зерновых позволяет своевременно подготовить уборочную технику, зернохранилища и т.д.

Метод прогноза разработан А.А. Шиголевым. В его основу положена зависимость скорости развития растений от температуры. Известно, что с повышением температуры воздуха (до определенного предела) темпы развития ускоряются, а значит, продолжительность межфазных периодов уменьшается. Автор установил зависимость продолжительности межфазных периодов от эффективной температуры. Прогноз практически сводится к определению периода, в течение которого накопится сумма эффективных температур, необходимая определенному виду и сорту растений для вступления в очередную фазу своего развития.

Наступление той или иной фазы развития рассчитывают по уравнению

$$D = D_1 + \frac{A}{t - t_{6.\min}}, \quad (15.5)$$

где  $D$  — ожидаемая дата наступления фазы;  $D_1$  — дата наступления предшествующей фазы;  $A$  — сумма эффективных температур, необходимая для данного межфазного периода, °С;  $t$  — ожидаемая средняя суточная температура за прогнозируемый (межфазный) период, °С (прогнозируемый период — это период от даты составления прогноза до средней многолетней даты наступления ожидаемой фазы, которую берут из агроклиматического справочника);  $t_{6.\min}$  — биологический минимум температуры растения в данной фазе, °С (для многих культур умеренного климата он равен 5 °С).

Если прогноз составляют некоторое время спустя после наступления предшествующей фазы, то расчетное уравнение имеет вид

$$D = D_2 + \frac{A - \Sigma t_{\text{эф}}}{t - t_{6.\min}}, \quad (15.6)$$

где  $D_2$  — дата составления прогноза;  $\Sigma t_{\text{эф}}$  — сумма эффективных температур, накопившаяся от даты наступления предшествующей фазы до даты составления прогноза, °С.

А.А. ШигOLEвым установлены значения сумм эффективных температур, необходимых для прохождения основных межфазных периодов зерновых (табл. 15.1) и плодовых культур с учетом сортовых различий.

Таблица 15.1

**Суммы эффективных температур, необходимые для прохождения основных межфазных периодов зерновых культур при оптимальном увлажнении, °С**

Культура	Межфазные периоды				
	Посев — всходы	Всходы — кущение	Кущение — выход в трубку	Выход в трубку — колошение	Колошение — восковая спелость
Озимая рожь	52	119	—	183	540
Озимая пшеница	67	134	—	330	490
Яровая пшеница	67	134	43	330...400	450...540
Овес	67	134	43	378	428...466
Ячмень	67	134	43	330	388...410

Для многих сортов яблони, культивируемых в зоне умеренного климата европейской части России, необходимая сумма эффективных температур от начала вегетации до цветения равна  $185 \pm 10$  °С. Цветение груши начинается при накоплении суммы эффективных температур  $125 \pm 10$  °С, вишни —  $150 \pm 10$  °С.

Следует отметить, что при прогнозировании срока цветения плодовых иногда сумму эффективных температур подсчитывают не по среднесуточным температурам, а по отдельным срочным измерениям. Так, в затяжные прохладные вёсны темп нарастания температуры небольшой: температура воздуха в ночные и утренние часы часто бывает ниже биологического минимума, и дневные температуры не перекрывают их. В результате среднесуточная температура оказывается меньше биологического нуля. Но в то же время днем надземная часть деревьев может значительно прогреваться, что создает условия для развития растений.

Необходимо отметить, что удовлетворительная оправдываемость расчетов сроков цветения у плодовых отмечается в районах (или в годы) с устойчивой зимой, т.е. с продолжительным периодом зимнего покоя культур. Если же зимы неустойчивые, с неоднократными глубокими оттепелями, указанные суммы температур требуют поправок. Например, по данным А.П. Лосева для начала цветения пепина шафранного в 1969 г. потребовалась сумма эффективных температур 247 °С, а в 1971 г. — всего лишь 146 °С. Для яблони и косточ-

ковых пород С.П. Аникеевой установлены зависимости сумм эффективных температур, требующихся для начала цветения, от температурного режима зимы.

При составлении фенологических прогнозов следует учитывать также верхние пределы температуры. Исследованиями Ю.И. Чиркова установлено, что скорость развития растений возрастает пропорционально повышению температуры лишь в пределах от биологического минимума температуры до среднесуточной температуры 18...20 °С (для многих культур умеренного пояса), а при дальнейшем повышении температуры развитие растений уже не ускоряется и может даже замедлиться. Температуры, не ускоряющие развитие растений, были названы автором *балластными*, и на них следует вводить поправки (табл. 15.2).

Из-за балластных температур суммы эффективных температур межфазных периодов теряют свое постоянство. В связи с этим Ю.И. Чирковым разработан метод прогноза сроков развития кукурузы в степной зоне с учетом балластных температур.

Балластные температуры учитываются и в методе прогноза сроков начала и конца цветения винограда (Ш.И. Церцвадзе).

Таблица 15.2

**Поправочные коэффициенты (С) на балластные температуры в зависимости от среднесуточной температуры воздуха**

Среднесуточная температура, °С	С	Среднесуточная температура, °С	С
20	1,00	24	0,90
21	0,98	25	0,87
22	0,96	26	0,84
23	0,93	27	0,80

**Прогнозы появления болезней и вредителей сельскохозяйственных растений.** Сельское хозяйство практически всех стран мира, в том числе и России, несет значительные потери от вредителей и болезней. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) при ООН, в отдельные годы потери основных сельскохозяйственных культур составляют 20...30% потенциального урожая, а в годы массового эпифитотийного развития урожай практически может быть полностью уничтожен. Поэтому защита растений от вредных организмов — обязательный элемент современной технологии сельскохозяйственного производства. Для рациональной организации профилактической защиты растений важно знать время появления вредных организмов, степень их распространения. Начи-

ная с 1957 г. в нашей стране ежегодно составляют прогнозы распространения основных болезней и вредителей сельскохозяйственных культур.

**Фитофтороз.** Это заболевание, зависящее от погодных условий, в большинстве областей Нечерноземной зоны является серьезной проблемой для картофелеводства. Для появления фитофтороза благоприятны те же агрометеорологические условия, что и для картофеля: влажная, умеренно теплая погода. Начало его совпадает с фазой полной бутонизации при минимальной температуре воздуха не ниже 7 °С, а максимальной — не выше 25 °С, при среднесуточной относительной влажности воздуха 85...90%, а минимальной — не ниже 60%. При таких погодных условиях на листьях появляется капельно-жидкая влага, и если она сохраняется не менее 7...15 ч в течение 2 сут. и более, то болезнь активно развивается. Дни с такой погодой — критические для картофеля. В результате восприимчивые сорта могут полностью погибнуть в течение 10...12 сут.

Болезнь в первые дни заражения развивается скрытно. Инкубационный период, от которого зависит срок возможного перезаражения, можно определить по номограмме Н.А. Наумовой, приведенной на рис. 15.1. Она отражает зависимость длительности инкубационного периода от среднесуточной, минимальной и максимальной температур воздуха, отмечавшихся в течение 3 сут. после критического периода.

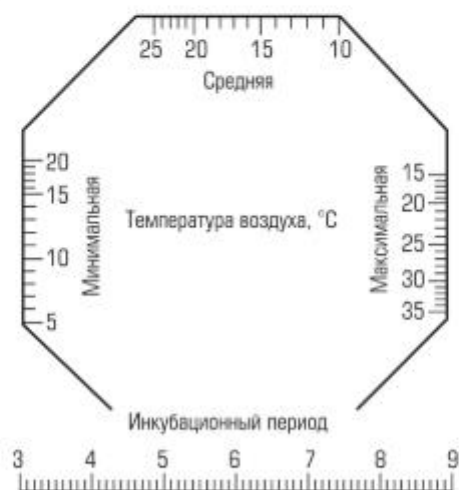


Рис. 15.1. Номограмма для расчета продолжительности инкубационного периода фитофтороза картофеля (по Н.А. Наумовой)

Рассмотрим пример составления прогноза срока химической обработки картофеля против фитофтороза. Исходные данные следу-

ющие: начало полной бутонизации отмечено в конце июня, 10 и 11 июля погодные условия по температуре и влажности воздуха благоприятствовали развитию фитофтороза, т.е. были критическими днями. В последующие трое суток (12, 13 и 14 июля) среднесуточная температура была 16,9 °С, средняя минимальная — 10,8 °С, средняя максимальная — 23 °С. Каков будет инкубационный период при таких условиях?

Для его определения с помощью номограммы необходимо предварительно нанести на кальку две взаимно перпендикулярные линии и наложить эту кальку на номограмму так, чтобы концы горизонтальной линии совместились с минимальной (10,8 °С) и максимальной (23 °С) температурами воздуха. Затем, двигая кальку горизонтально, совмещаем верхнюю часть вертикальной линии со значением среднесуточной температуры воздуха (17,5 °С). Нижняя часть этой линии покажет на шкале номограммы ожидаемую продолжительность инкубационного периода. В данном случае это 6 сут., значит, 17...18 июля (11 июля + 6 дней) на листьях появятся признаки фитофтороза, и в эти дни надо проводить первую обработку картофеля фунгицидами.

*Колорадский жук.* Метод прогноза появления этого опасного вредителя картофеля и других пасленовых культур разработал В.В. Вольвач. Установлено, что начало устойчивого выхода жука из почвы совпадает с переходом среднесуточной температуры воздуха через 10 °С. Для установления продолжительности периода созревания перезимовавших жуков (т.е. периода от выхода до начала яйцекладки) В.В. Вольвач предложил уравнение

$$Y = 94,6 + 0,22t^2 - 8,738t + 4,15\Delta t, \quad (15.7)$$

где  $Y$  — продолжительность периода созревания жуков, сут.;  $t$  — среднесуточная температура воздуха за этот период (фактическая, по прогнозу или климатическая норма), °С;  $\Delta t$  — разность между максимальной длиной дня на 21.06 на данной широте места и длиной дня на дату выхода жуков из почвы, ч.

В.В. Вольвачом предложены прогностические уравнения и для дальнейших фаз развития вредителя. На основании этих уравнений рассчитывают сроки химических обработок посадок картофеля.

Другие виды фенологических прогнозов позволяют определить сроки полного созревания культур и начало уборочных работ (М.Г. Лубнин, Т.А. Побетова и др.).

Основной недостаток методик фенологических прогнозов — использование в уравнениях значений метеоэлементов, определяемых по долгосрочному прогнозу погоды или по климатическому справочнику.



### 15.3. ПРОГНОЗЫ СОСТОЯНИЯ ЗИМУЮЩИХ КУЛЬТУР

Перезимовка сельскохозяйственных культур зависит от биологических особенностей растений, их состояния в период прекращения вегетации, степени закалки и от агрометеорологических условий холодного периода.

Основными причинами гибели (повреждения) зимующих культур в нашей стране являются *вымерзание и выпревание растений*.

Основу методов прогнозов перезимовки озимых культур разработала В.А. Моисейчик. Ею установлено, что главным показателем перезимовки является температура почвы на глубине узла кушения (3 см).

Прогнозы, составленные на основе этих методов, позволяют с большой заблаговременностью (до трех месяцев) определять площади с различным состоянием посевов озимых весной на территории областей, краев. Прогнозы составляют после 20.02.

Имеется большое число прогностических зависимостей. Например, для расчета ожидаемой весной площади с посевами ржи, погибшими от вымерзания, В.А. Моисейчик предложила уравнение

$$S = 0,313(\bar{t}_3 + 5)^2 + 1,336(\bar{t}_3 + 5) + 2,238, \quad (15.8)$$

где  $S$  — площадь с погибшими посевами, % общей площади посевов по области;  $\bar{t}_3$  — средняя по области минимальная температура почвы на глубине узла кушения до 20.02, °С.

Для районов, где гибель озимых обусловлена действием комплекса неблагоприятных факторов, автор разработала многофакторные уравнения для различных почвенно-климатических зон. В целом на территории области площадь посевов озимой пшеницы, погибших от сильных морозов и притертой ледяной корки, например, для Центрально-Черноземной зоны может быть рассчитана по уравнению:

$$S = 1,017S_0 + 5,340\bar{m} - 1,060\bar{t}_3 - 3,689, \quad (15.9)$$

где  $S$  — площадь посевов с плохим состоянием весной, %;  $S_0$  — то же осенью;  $\bar{m}$  — средняя по области толщина притертой ледяной корки, см.

Уточнить прогноз состояния озимых зерновых культур весной можно по результатам отращивания растений в вырубленных 23.02 монолитах. Для озимой пшеницы уравнение имеет вид

$$S = 1,743\bar{x} + 7,29, \quad (15.10)$$

где  $S$  — площадь с погибшими посевами, %;  $\bar{x}$  — средний по области процент изреженности пшеницы при отращивании.

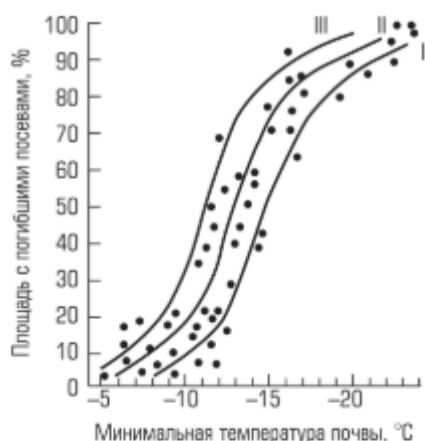


Рис. 15.2. Зависимость площади с погибшими посевами озимой пшеницы от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения до 20.02:

I — для морозостойких сортов (Мироновская 808, Одеская 16 и др.) при хорошем состоянии посевов осенью; II — для этих же сортов, но при удовлетворительном состоянии посевов осенью и для слабозимостойких сортов (Безостая 1, Аврора, Кавказ и др.) при хорошем состоянии осенью; III — для слабозимостойких сортов с плохим состоянием посевов осенью

Уравнение составлено для областей Центрально-Черноземной зоны.

Оценить ожидаемые весной площади погибших посевов озимых зерновых можно и по графикам, предложенным В.А. Моисейчик. В качестве примера на рис. 15.2 приведена зависимость площади с погибшими посевами озимой пшеницы (в процентах от общей посевной площади в области) от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения до 20.02. Ожидаемую площадь вымерзания определяют по одной из кривых в зависимости от сорта и состояния посевов осенью.

Аналогичные графические зависимости для многолетних сеяных трав разработаны А.И. Страшной. Так, из рис. 15.3 видно, что изреженность посевов клевера двуукосного больше, чем одноукосного. В среднем эта разница составляет около 10%, иногда достигает 40%. При этом автором установлено, что для оценки условий зимовки трав можно использовать минимальную температуру почвы на глубине 3 см, измеренную на соседних полях с озимой культурой, так как между этими факторами агрометеорологического режима есть тесная связь.

Для территорий, где посевы повреждаются от выпревания, В.А. Моисейчик установлена зависимость размеров площади с погибшими посевами озимых  $S$  (%) от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения  $\bar{t}_3$  до 20.02 и продолжительности периода  $\bar{n}$  (в декадах) с высотой снежного покрова 30 см и более:

$$S = 6,32 \bar{t}_3 + 0,29 \bar{t}_3^2 + 0,1\bar{n} + 0,07\bar{n}^2 + 30,93. \quad (15.11)$$

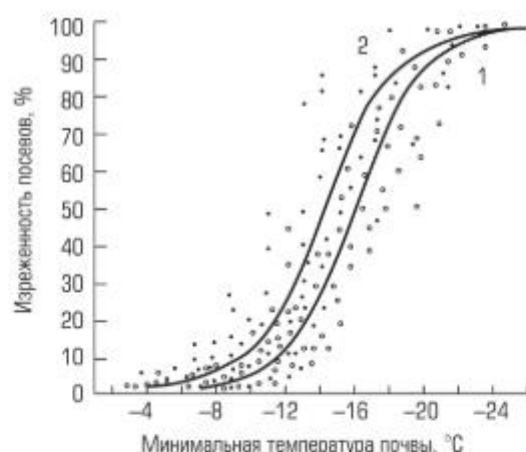


Рис. 15.3. Зависимость изреженности посевов клевера одноукосного (1) и двуукосного (2) от минимальной температуры почвы на глубине узла кущения озимых зерновых культур (Нечерноземная зона)

Если ко времени составления прогноза высота снежного покрова превышает 30 см, то для определения ожидаемой продолжительности периода со снежным покровом выше 30 см используют формулу

$$n = 17,54 - 1,13d, \quad (15.12)$$

где  $d$  — дата установления снежного покрова выше 30 см (за  $d = 1$  принимают первую декаду ноября).

При выпревании посевов трав на изреженность растений весной, как установила А.И. Страшная, существенно влияют глубина промерзания почвы на дату установления высокого (>20 см) снежного покрова, время его установления, абсолютный минимум температуры почвы до 20.02 и наблюдавшаяся за период с высоким снежным покровом сумма минимальных декадных температур почвы на глубине 3 см. Выпревание трав не наблюдают, когда глубина промерзания почвы на дату установления снежного покрова высотой 20 см превышает 60 см, при уменьшении промерзания до 5 см изреженность трав вследствие выпревания увеличивается от 5 до 50...70%. Зависимость степени изреженности клевера весной на полях Нечерноземной зоны от суммы минимальных декадных температур почвы на глубине 3 см до 20.02 представлена на рис. 15.4.

В дальнейшем ожидаемые размеры площадей с плохим состоянием сеяных трав (как и озимых зерновых культур) уточняют по результатам отращивания растений в вырубленных монолитах.

Все прогнозы этой группы имеют большое практическое значение. На основании их можно своевременно подготовиться к пересеву погибших, к посеву изреженных и подкормке ослабленных посевов.

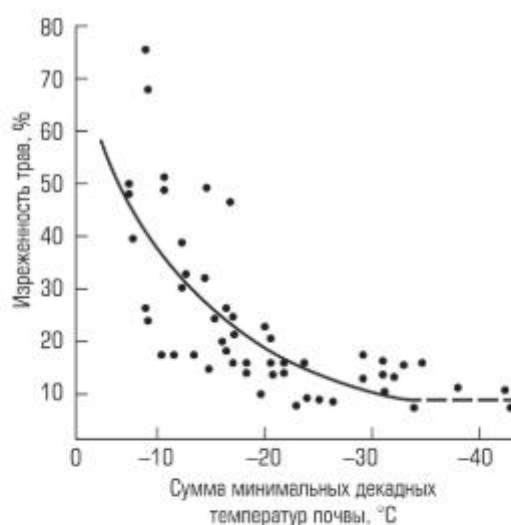


Рис. 15.4. Зависимость изреженности трав (%) весной от суммы минимальных декадных температур почвы на глубине узла кущения озимых зерновых культур до 20.02

Надо отметить, что имеются методы прогноза перезимовки и плодовых культур. Например, для Нечерноземной зоны Т.А. Побетовой получена зависимость повреждений плодовых и листовых почек  $Y$  (%) от абсолютного минимума температуры воздуха за зиму ( $t_{\text{абс.мин}}$ ) и числа дней с температурой поверхности почвы (снега) ниже  $-20$  °C ( $n$ ). Эти зависимости выражают уравнениями

$$Y = -0,98t_{\text{абс.мин}} + 1,33 \quad (15.13)$$

и

$$Y = 1,03n + 2,07. \quad (15.14)$$

Уравнения рассчитаны для случаев с неблагоприятными условиями осенне-летнего периода, т.е. когда растения плохо подготовлены к перезимовке.

#### 15.4. ПРОГНОЗЫ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА УРОЖАЯ

Важное значение для народного хозяйства имеют долгосрочные прогнозы урожайности и валовых сборов основных сельскохозяйственных культур. Они позволяют с большой заблаговременностью определять ожидаемые ресурсы сельскохозяйственной продукции, потребность в технике для уборки, транспортировки урожая, подготовки хранилищ, перерабатывающих предприятий и т.д.

Урожайность культур зависит от ряда факторов, многие из них довольно стабильны (почвенные условия, биологические особен-

ности сорта (гибрида), агротехнические приемы, качество семенного материала и др.). И тем не менее отмечаются колебания урожайности (иногда значительные), что обусловлено влиянием еще и агрометеорологических условий, характеризующихся большой изменчивостью во времени и пространстве. Поэтому при прогнозах урожайности в первую очередь учитываются основные и лимитирующие агрометеорологические величины.

Ниже излагаются некоторые методы прогнозов урожайности культур, имеющих наибольшее продовольственное и промышленное значение, а также возделываемых на больших площадях.

**Прогнозы урожайности пшеницы.** Методика составления прогноза урожайности озимой пшеницы для Центрально-Черноземной зоны разработана Е.С. Улановой. Она установила, что главными инерционными факторами формирования урожая являются весенние запасы влаги в почве и число стеблей на 1 м<sup>2</sup>, сохранившихся после перезимовки.

Ею получены прогностические уравнения ожидаемой урожайности различной заблаговременности как для отдельных полей, так и для средней областной урожайности. Урожайность озимой пшеницы отдельного поля с трехмесячной заблаговременностью (составляется через 10 сут. после возобновления вегетации) прогнозируется по уравнению

$$Y = 0,1(0,059W + 0,024n - 2,97), \quad (15.15)$$

где  $Y$  — ожидаемая урожайность, т/га;  $W$  — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см весной, мм;  $n$  — число стеблей на 1 м<sup>2</sup> весной.

Для Нечерноземной зоны М.С. Куликом разработаны прогнозы урожайности озимой пшеницы, в которых учитываются еще и такие предикторы, как, например, количество внесенных минеральных удобрений, число образовавшихся колосков в колосе и др.

Методы прогнозов урожайности яровой пшеницы разрабатывали А.В. Процеров, К.В. Кириличева, Б.П. Пономарев и др. для разных регионов и различной заблаговременности.

**Прогноз урожайности зерна кукурузы.** Метод этого прогноза предложен Ю.И. Чирковым. Он основан на тесной связи урожайности кукурузы с запасами продуктивной влаги в почве, с площадью листовой поверхности посева, выражающей фотосинтетический потенциал, т.е. возможностью посева использовать для формирования урожая солнечную радиацию (рис. 15.5). В расчет вводят поправки на температуру воздуха в период формирования элементов продуктивности початка и в течение месяца после выметывания метелки.

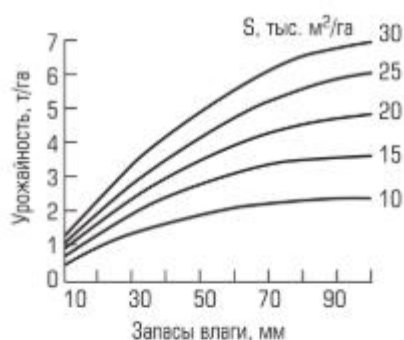


Рис. 15.5. Зависимость урожайности зерна кукурузы от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...50 см и площади листовой поверхности  $S$

Разработаны также прогнозы урожайности растительной массы кукурузы для степной и Нечерноземной зоны. В уравнения для Нечерноземья, где ресурсы тепла ограничены, в качестве одного из предикторов включена сумма эффективных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

**Прогноз урожайности сахарной свеклы.** Для определения ожидаемой средней областной урожайности сахарной свеклы в основной зоне свеклосеяния используют метод О.М. Конторщиковой, основанный на зависимости урожайности культуры от тепло- и влагообеспеченности посевов, массы корнеплода на момент составления прогноза и густоты посевов. Например, для Курской, Белгородской и Воронежской областей уравнение имеет вид

$$Y = 0,105y_1 + 0,002\Sigma t + 0,092w - 0,343, \quad (15.16)$$

где  $Y$  — ожидаемая средняя областная урожайность, т/га;  $y_1$  — средняя по области биологическая урожайность (масса корнеплода на 20.07, умноженная на густоту посева на 20.08), т/га;  $\Sigma t$  — средняя по области сумма активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  до 01.08,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $w$  — средняя по области влагообеспеченность посевов за весь период вегетации, % (есть специальные расчетные уравнения).

Прогноз составляют в конце июля, поэтому часть данных берут по прогнозу или из справочников. Густоту посевов на 20.08 ( $n$ ) определяют по формуле

$$n = 0,86n_1 + 6, \quad (15.17)$$

где  $n_1$  — густота посевов на 01.07.

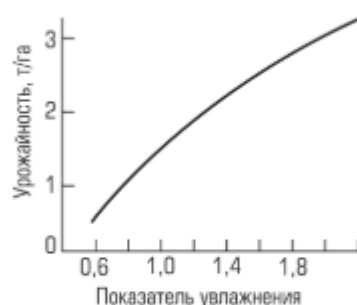
**Прогноз урожайности семян подсолнечника.** Основные районы возделывания подсолнечника характеризуются недостаточными и неустойчивыми условиями увлажнения. Поэтому фактором, лимитирующим урожайность этой культуры, является влага.

В основу прогноза, предложенного Ю.С. Мельником, положена зависимость урожайности от показателя  $K$ , представляющего собой отношение

$$K = \frac{0,6r_1 + r_2}{0,1\Sigma t}, \quad (15.18)$$

где  $0,6$  — коэффициент усвоения осадков;  $r_1$  — количество осадков за период от даты перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5^\circ\text{C}$  осенью предыдущего года до даты устойчивого перехода ее через  $10^\circ\text{C}$  весной, мм;  $r_2$  — количество осадков от даты перехода среднесуточной температуры воздуха через  $10^\circ\text{C}$  до даты созревания подсолнечника, мм;  $\Sigma t$  — сумма среднесуточных температур за период от даты перехода температуры через  $10^\circ\text{C}$  до созревания подсолнечника,  $^\circ\text{C}$ .

Рис. 15.6. Связь урожайности семян подсолнечника на сортоучастках с показателем увлажнения  $K$



Связь урожайности ( $Y_c$ ) средне-позднеспелых сортов подсолнечника при высоком уровне агротехники (данные сортоучастков) с показателем увлажнения  $K$  приведена на рис. 15.6. Математическое выражение связи имеет вид (т/га):

$$Y_c = 23,44(K - 0,46)^{0,8}. \quad (15.19)$$

Известно, что урожайность семян подсолнечника, так же как и других культур, полученная в условиях повышенной агротехники на сортоучастках, выше средней областной урожайности во всех категориях хозяйств. Поэтому автором были установлены соотношения, позволяющие переходить от урожайности, рассчитанной по уравнению для сортоучастков (15.19), к среднеобластной урожайности (рис. 15.7).

Первый прогноз составляют в начале мая. По мере поступления фактических данных и долгосрочного прогноза погоды прогнозируемую урожайность подсолнечника уточняют в июне и июле. Дату созревания подсолнечника (среднюю многолетнюю) берут из справочника.

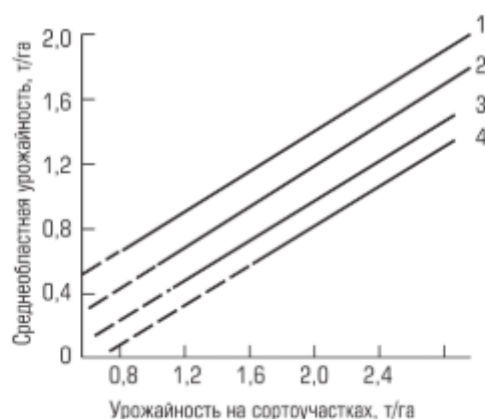


Рис. 15.7. Связь между урожайностью семян подсолнечника на сортоучастках и среднеобластной в хозяйствах всех категорий:

- 1 — для Краснодарского края; 2 — для Воронежской и Ростовской областей, Северного Кавказа; 3 — для Самарской, Волгоградской, Саратовской и Ульяновской областей, Ставропольского края; 4 — для Белгородской, Липецкой, Тамбовской и Пензенской областей

**Прогноз урожайности луговых и сеяных трав.** Этот прогноз имеет большое значение для Нечерноземной зоны — района развитого животноводства, основным источником кормов для которого являются как естественные сенокосы и пастбища, так и сеяные травы.

Урожайность естественных сенокосов, как установила Н.В. Гулинова, в значительной степени определяется весенними запасами продуктивной влаги в почве в слое 0...100 см. Для восточных и центральных областей эта связь оказалась прямолинейной и, например, для Волго-Вятского района может быть представлена в следующем виде:

$$Y = 0,1 (0,06W + 2,2), \quad (15.20)$$

где  $Y$  — средняя областная урожайность, т/га;  $W$  — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см на конец мая, мм.

Для большинства же северных и северо-западных областей зоны (Ивановская, Костромская, Ярославская, Ленинградская области и др.) зависимость средней по области урожайности от влагозапасов имеет криволинейный характер:

$$Y = 0,1 (-0,0005W^2 + 0,22W - 15,4). \quad (15.21)$$

Максимальную урожайность (более 1 т/га) отмечают при запасах влаги 200...250 мм. Дальнейшее увеличение влаги, возможное в данных областях, нарушает аэрацию почвы, уменьшает ее плодородие, что снижает урожайность луговых почв.



Для различных районов Нечерноземья автором также получены зависимости средней по области урожайности многолетних сеяных трав (сена).

Помимо приведенных ранее методов прогноза урожайности сельскохозяйственных культур разработаны методы прогноза урожайности овса и ячменя (А.Н. Полевой, Т.И. Мызина, Н.Н. Желтая, С.Л. Плучик), озимой ржи (М.С. Кулик), гречихи (Н.В. Иванова-Зубкова), яблوك (А.П. Лосев), волокна льна-долгунца (А.А. Андреев) и ряда других культур, а также урожайности пастбищной растительности (А.П. Федосеев, И.Г. Грингоф и др.).

**Прогноз качества урожая.** При стремлении получать с единицы обрабатываемой площади максимально высокий урожай полезной продукции (зерна, клубней, корнеплодов и т.п.) из поля зрения нередко выпадает другая не менее важная сторона процесса — качество получаемой продукции. Иногда урожай бывает и высоким, но качество продукции столь низкое, что использовать ее можно лишь для технической переработки. Например, низкобелковое зерно пшеницы с пониженным содержанием клейковины оказывается непригодным для выработки хлебобулочных и макаронных изделий, из низкокачественного семени льна нельзя получить хорошее масло, олифу, лаки, краски и т.д.

Качество урожая в значительной степени зависит от климата и метеорологических условий года. Установлено, что с увеличением континентальности климата увеличивается содержание белка в зерне пшеницы, от распределения осадков в течение вегетационного периода зависит качество клубней картофеля, с улучшением влагообеспеченности вегетационного периода повышаются сахаристость свеклы, масличность семян подсолнечника и т.д. На основании этого для ряда культур разработаны методы долгосрочных прогнозов качества урожая (сахаристости сахарной свеклы — О.М. Конторщикова, масличности семян подсолнечника — Ю.С. Мельник и др.).

В качестве примера рассмотрим прогноз содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы сильных сортов в условиях Центрально-Черноземной зоны, разработанный В.Н. Страшным.

Содержание белка в зерне пшеницы, возделываемой по чистому пару, вычисляют по формуле

$$Y_6 = 0,27A - 0,01W + 0,16d - 0,002N + 0,09t + 9,52, \quad (15.22)$$

а клейковины — по формуле

$$Y_k = 0,44A - 0,03W + 0,33d - 0,006N + 0,24t + 21,94, \quad (15.23)$$

где  $Y_6$  и  $Y_k$  — соответственно содержание белка и клейковины, %;  $A$  — средняя амплитуда температуры воздуха за период от возобновления до начала активной вегетации (т.е. за период от даты

перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С до даты перехода температуры через 10 °С), °С;  $W$  — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см на начало периода активной вегетации, мм;  $d$  — среднесуточный дефицит влажности воздуха от начала активной вегетации до колошения, гПа;  $N$  — число колосоносных стеблей на 1 м<sup>2</sup>;  $t$  — среднесуточная температура воздуха за межфазный период колошение — восковая спелость, °С (берут по прогнозу погоды или из справочника). Прогноз составляют после наступления фазы колошения.

#### 15.5. ДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Рассмотренные ранее прогнозы получены на основе эмпирико-(физико)-статистических моделей. При таком подходе основное внимание уделяется поиску эмпирических связей между прогнозируемой величиной и *предикторами (лимитирующими факторами)*, влияющими на ее будущее состояние. И на основе корреляционно-регрессионного анализа получают прогностические уравнения. Работая с подобными моделями, необходимо помнить, что корреляционные формулы, будучи выведены на основе статистических материалов, как правило, справедливы лишь для той локальной местности и тех граничных условий, для которых они получены. Несмотря на этот недостаток, статистические методы в силу своей простоты остаются достаточно эффективными при решении прикладных задач, среди которых на первом месте стоит прогнозирование урожайности.

Практическая необходимость в таких прогнозах для руководителей высшего и среднего звена, занимающихся планированием производства зерна в стране, его продажей и закупкой, не вызывает сомнений. Интерес к подобной информации достаточно велик во всем мире. Эту информацию широко используют при принятии решений по многим вопросам, имеющим отношение к политике, экономике, торговле.

Поэтому изучение причинно-следственных связей между гидрометеорологическими условиями среды и продуктивностью сельскохозяйственных культур продолжается, в том числе на основе нового метода — динамического моделирования.

Научные предпосылки для построения динамических моделей были созданы в результате экспериментальных исследований по архитектонике и радиационному режиму фитоценозов, моделированию фотосинтеза, дыхания и роста растений, радиационного, теплового и водного режимов посевов сельскохозяйственных культур (А.А. Ничипорович, А.И. Будаговский, Ю.К. Росс, Х.Г. Тооминг и др.).

Сущность динамического подхода состоит в том, что формирование урожая рассматривают как развивающийся во времени процесс. Полагают, что продуктивность агроэкосистемы определяется интенсивностью и направленностью процессов обмена веществом и энергией между посевом и окружающим его приземным слоем воздуха и почвой. Посев — центральное звено системы «почва — растение — атмосфера» — рассматривают как «зеленую машину», которая усваивает из окружающей среды энергию и необходимые субстраты и продуцирует органическое вещество. Таким образом, динамическая модель — это описание формирования урожая во временной динамике с помощью уравнений и формул, учитывающих основные процессы жизнедеятельности растений в зависимости от внутренних параметров растений и изменяющихся условий окружающей среды.

Структура модели включает четыре основных блока: гидрометеорологический, почвенный, фотосинтетический и ростовой (рис. 15.8).

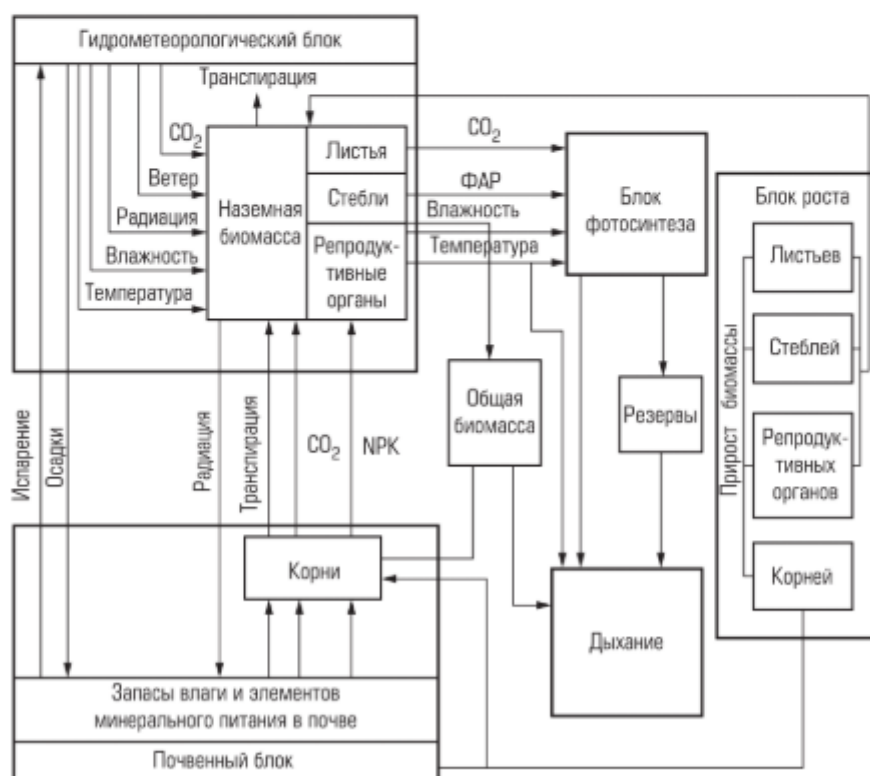


Рис. 15.8. Блок-схема продукционного процесса (по И.Г. Грингофу, В.В. Поповой и др.)

В этих моделях гидрометеорологические величины (радиацию, температуру и влажность воздуха, ветер, влажность почвы и т.д.) измеряют день за днем или рассчитывают, используя доступные знания о процессе. Затем моделируют их влияние на такие процессы, как фотосинтез, дыхание и т.д., при помощи системы уравнений, формул, алгоритмов.

Фотосинтетический блок численно описывает процессы фотосинтеза, дыхания и транспирации растений.

Ростовой блок содержит расчеты динамики прироста отдельных органов и урожая растений.

Как правило, модели представляют собой компьютерные программы, позволяющие рассчитывать динамику фитомассы агрофитоценоза в течение суток (короткопериодные динамические модели) или в течение всего периода вегетации с суточным шагом по времени (длиннопериодные динамические модели продукционного процесса).

Преимущество динамических моделей заключается в рассмотрении формирования урожая как процесса, изменяющегося во времени и в зависимости от состояния посева, влияния внешней среды и параметров модели. Кроме того, они позволяют моделировать «критические условия» для растений, например заморозки, засуху и т.п., и выявлять устойчивость культур к таким явлениям.

Первые прикладные динамические модели для ряда культур были разработаны О.Д. Сиротенко, Е.П. Галяминим, А.Н. Полевым.

В подготовленном А.Н. Полевым методическом пособии по разработке динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур изложены приемы обработки стандартной агрометеорологической информации, даны описания алгоритмов, программ, необходимые для дальнейшего развития динамико-статистических методов прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур в различных районах страны.

Динамические модели формирования урожайности, основанные на теории продуктивности агроэкосистем, нашли применение и в оценке влияния на сельское хозяйство ожидаемых изменений климата на период до 2030 г. (О.Д. Сиротенко, Е.В. Абашина, В.Н. Павлова). В итоге был сделан вывод, что глобальное потепление климата, независимо от того, по какому сценарию оно будет развиваться, может иметь для России серьезные последствия, если сохранится современный технологический уровень сельскохозяйственного производства, не будет приостановлена деградация почв и реализована программа адаптации сельского хозяйства России к глобальному потеплению.

В агрометеорологическом прогнозировании есть еще направление — синоптико-статистическое (В.М. Пасов, Е.А. Аксарина,

В.П. Зинченко). Это математические модели, основанные на исследовании особенностей циркуляции атмосферы в различные периоды календарного года (по картам барической топографии в масштабе полушария) и установлении количественных связей между характеристиками циркуляционного режима и продуктивностью сельскохозяйственных культур. Методы, основанные на синоптико-статистических моделях, позволяют существенно увеличить заблаговременность прогнозов урожайности зерновых культур (яровых, например, до сева).

В последние годы в Гидрометцентре России и во ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии активно проводятся работы по созданию нового комплекса методик прогноза урожайности сельскохозяйственных культур на основе усовершенствованной динамико-статистической модели и синоптико-статистического подхода. Например, Т.И. Русаковой разработаны методики прогнозов урожайности озимых пшеницы и ржи, В.Н. Суховой — для ярового ячменя, а Т.А. Гончаровой — для картофеля заблаговременностью один—два месяца. Методики эти апробированы и рекомендованы в оперативную практику в качестве основных методов прогноза в большинстве субъектов РФ, выращивающих эти культуры.

Необходимо отметить, что методы динамического и синоптико-статистического моделирования используются агрометеорологами и при решении других задач, например долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода (В.М. Лебедев, И.Г. Грингоф), перезимовки озимых (А.Г. Палагин, В.А. Моисейчик).

## 15.6. ПРОГНОЗ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ ДЛЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

При планировании различных мероприятий, связанных с орошением сельскохозяйственных культур, и для сопоставления имеющихся запасов оросительных вод с предполагаемой потребностью в них на предстоящий вегетационный период большое значение имеет прогноз оросительных норм для яровых, в том числе яровой пшеницы и кукурузы.

Согласно методике, предложенной Л.А. Разумовой и Н.Б. Мещаниновой, этот прогноз составляют ранней весной, как только определяют запасы влаги в почве:

$$N = E_{\Sigma} - E_{\Sigma_1}, \quad (15.24)$$

где  $N$  — оросительная норма, мм;  $E_{\Sigma}$  — оптимальные суммарные расходы влаги, обеспечивающие получение заданной урожайности, мм;  $E_{\Sigma_1}$  — фактические суммарные расходы в естественных условиях увлажнения, мм.

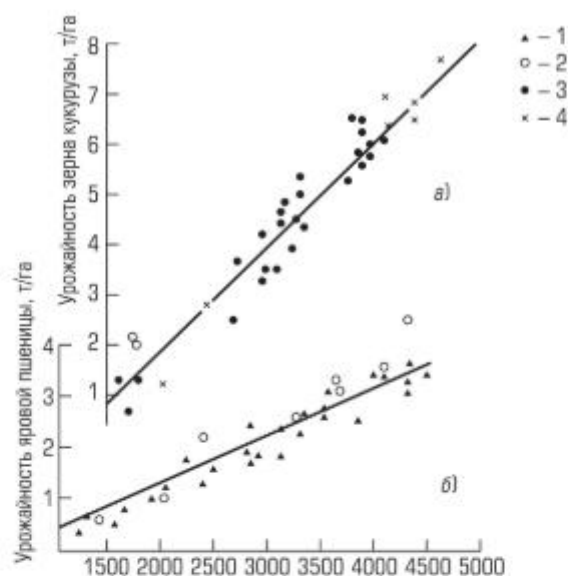


Рис. 15.9. Связь урожайности зерна кукурузы (а) и яровой пшеницы (б) с оптимальными суммарными расходами влаги за период вегетации:  
 1 — Кулундинская степь; 2 — Оренбургская степь; 3 — Поволжье;  
 4 — Северный Кавказ

$E_{\Sigma}$  определяют по известным зависимостям урожайности сельскохозяйственных культур от используемого ими в период вегетации количества воды. Для яровой пшеницы и кукурузы эти зависимости приведены на рис. 15.9.

$E_{\Sigma_1}$  рассчитывают по уравнению водного баланса:

$$E_{\Sigma_1} = W_n - W_k + r, \quad (15.25)$$

где  $W_n$  и  $W_k$  — влагозапасы в слое почвы 0...100 см соответственно на начало сева и на конец вегетации, мм;  $r$  — количество осадков за период вегетации культуры, мм.

$W_k$  и  $r$  берут из агроклиматических справочников. Для большей точности значения этих предикторов необходимо брать обеспеченностью 80%.

Таким образом, агрометеорологические прогнозы дают специалистам сельского хозяйства чрезвычайно важную информацию, необходимую для принятия обоснованных хозяйственных решений — начиная от подготовки почвы к посеву, правильного ухода за растениями в течение периода вегетации и кончая уборкой урожая.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое агрометеорологические прогнозы?
2. В чем заключаются научные основы методов агрометеорологических прогнозов?
3. Что такое инерционные факторы? Приведите примеры.
4. Перечислите лимитирующие факторы.
5. Что служит исходными данными для агрометеорологических прогнозов?
6. Какова заблаговременность и оправдываемость агрометеорологических прогнозов?
7. Как можно подразделить агрометеорологические прогнозы по содержанию?
8. Что представляют собой прогнозы агрометеорологических условий?
9. Приведите примеры фенологических прогнозов.
10. Какие основные блоки составляют структуру динамико-статистических моделей формирования урожая сельскохозяйственных культур?

Программированное возделывание сельскохозяйственных культур в отличие от традиционных форм ведения сельского хозяйства, ориентированных на средние почвенно-агрометеорологические условия, предусматривает научное решение задачи получения урожая на основе расчетов и детальной дифференциации агротехники в соответствии с характеристиками конкретного поля и складывающимися в течение вегетации погодными и хозяйственными условиями.

Первые опыты по программированию урожайности были проведены известным селекционером-картофелеводом А.Г. Лорхом. Еще в 1930-е гг. он разработал систему выращивания картофеля, дающую в условиях Московской области 50 т/га и более. Суть программы А.Г. Лорха состояла в следующем. На основании многолетних наблюдений ученый составил график нарастания биологической массы картофеля, в соответствии с которым затем регулировал питание, водоснабжение и углекислотный обмен растений. Позднее А.Г. Лорх разработал программу получения урожайности 70 т/га и более.

С развитием биологии, кибернетики, агрометеорологии, агрономии и мелиорации были созданы предпосылки для разработки систем оптимального управления ростом и развитием растений на основе современной техники, сбора и обработки информации, математических моделей растений и внешней среды, т.е. для программирования урожайности. Программирование урожайности отражает закономерный процесс логического развития учения об урожае как сложной функции многих процессов и факторов, определяющих его количественные и качественные характеристики.

*Программировать урожайность* — значит рационально использовать эколого-генетические возможности культур (сортов, гибридов), почвенно-климатический потенциал территории, а также имеющиеся в хозяйстве материальные, сырьевые и трудовые ресурсы. В практическом отношении программирование урожайности сводится к разработке комплекса технологических, агротехнических и хозяйственных мероприятий, своевременное и качественное выполнение которых обеспечивает с *заранее рассчитанной вероятностью* получение экономически обоснованного урожая при одновременном сохранении (а при необходимости и повышении) уровня почвенного плодородия и удовлетворении требований охраны окружающей среды.

Повышение культуры земледелия, выведение качественно новых сортов (гибридов), разработка интенсивных технологий возделыва-



ния полевых культур и другие достижения в области агрономической науки, а также накопление исходных данных о взаимосвязи с различными факторами роста и развития растений позволили ученым сформулировать принципы программирования урожайности: физиологические, биологические, агрохимические, агрофизические, агротехнические и агрометеорологические. Такое разделение несколько условно, но эти принципы широко применяют в решении задачи практического программирования урожайности специалистами различных отраслей агрономической науки и смежных с ней наук.

*Физиологические принципы* программирования урожайности предусматривают формирование посевов с оптимальными показателями фотосинтетического потенциала (ФП), обеспечивающего получение заданного урожая.

*Биологические принципы* связаны с оптимизацией водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв.

*Агрохимические принципы* состоят в обосновании экономически оправданных доз удобрений для посевов заданной продуктивности с учетом агрохимических показателей почв, выноса питательных веществ растениями, коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений.

*Агрофизические принципы* программирования урожайности заключаются в оптимизации физических физико-химических свойств почв (объемная масса, удельное сопротивление, пористость, плотность, влагоемкость, водопроницаемость, теплоемкость и др.).

*Агротехнические принципы* предусматривают разработку и внедрение оптимальных технологий (сетевых графиков) возделывания культуры, обеспечивающих своевременное и высококачественное проведение всего агротехнического комплекса с учетом биологических особенностей сорта.

*Агрометеорологические принципы* программирования урожайности – это правильное использование климатических и агроклиматических показателей для обоснования продуктивности посевов, прогнозирование условий вегетационного периода (особенно возможных опасных явлений), появления вредителей и болезней и др.

Необходимо отметить, что при составлении программы получения заданной урожайности до посева не представляется возможным заложить в нее агрометеорологические предикторы (предсказатели), характеризующие ожидаемые метеорологические условия на 4...5 мес. вперед. Поэтому используют вероятностные характеристики с обеспеченностью 80 или 90% (сумм температур, необходимых для созревания данного сорта, сроков поспевания почвы, сроков окончания и начала заморозков, сумм осадков и других элементов).

Кроме того, при использовании климатических данных необходима корректировка программы с учетом сложившихся и ожидаемых

агрометеорологических условий данного года. Это позволяет уточнить, какие нужны изменения в предварительной программе, чтобы компенсировать дефицит какого-либо фактора, вызванного аномальным ходом метеорологических условий.

И наконец, целесообразно при программировании урожайности учитывать микроклимат полей, поскольку микроклиматические различия могут вызывать колебания урожайности некоторых культур (до  $\pm 1 \dots 1,5$  т/га) в пределах даже одного хозяйства (см. разд. 11.5).

## 16.1. КАТЕГОРИИ УРОЖАЙНОСТИ И ИХ РАСЧЕТ

Программирование начинают с обоснования урожайности, которую предполагается получить с каждого конкретного поля и в расчете на которую разрабатывают всю систему агротехнических мероприятий. Для того чтобы правильно решить этот вопрос, агроному необходимо исходить из представления о существовании следующих основных категорий урожайности, отвечающих наличию различных групп лимитирующих факторов: климатических, почвенных, хозяйственно-экономических (Х.Г. Тооминг, Е.Е. Жуковский).

*Потенциальная урожайность* (ПУ) — урожайность, которая при соблюдении всех элементов принятой агротехники теоретически может быть получена в идеальных почвенно-климатических условиях. ПУ определяется приходом ФАР и биологическими особенностями культуры (сорта).

*Климатически обеспеченная урожайность* (КОУ) — урожайность, которая при полном соблюдении агротехники теоретически может быть получена в конкретных климатических условиях на идеальной почве. Лимитирующими факторами здесь являются ресурсы тепла и влаги.

*Действительно возможная урожайность* (ДВУ) — урожайность, которая при соблюдении агротехники теоретически может быть получена на конкретном поле при фактическом почвенном плодородии в реальных климатических условиях. Для хорошо окультуренных полей ДВУ близка к КОУ.

*Урожайность в производстве* (УП), или *хозяйственная урожайность*, характеризует фактическую продуктивность посева на конкретном поле.

Соотношение перечисленных категорий урожайности показано на рис. 16.1, где одновременно указаны факторы, ответственные за постепенное снижение урожайности от потенциальной до производственной.

В отличие от ПУ, КОУ и ДВУ, являющихся категориями агроэкологическими, *программируемая урожайность* (Пр.У) представляет собой категорию еще и хозяйственно-экономическую, и в расчете на нее планируют основные агротехнические мероприятия.

Первоочередная задача программирования — приближение урожайности в производстве к действительно возможной, что достигается строгим соблюдением агротехнологии, оперативной дифференциацией и корректировкой агротехнических приемов в соответствии со складывающимися агрометеорологическими условиями.

Качество организации сельскохозяйственного производства можно оценить по разности ДВУ–УП, которая является величиной урожая, недополучаемого из-за неполного использования потенциальных (климатических) возможностей повышения урожайности. Эффективность программирования урожайности тем выше, чем меньше эта разность.

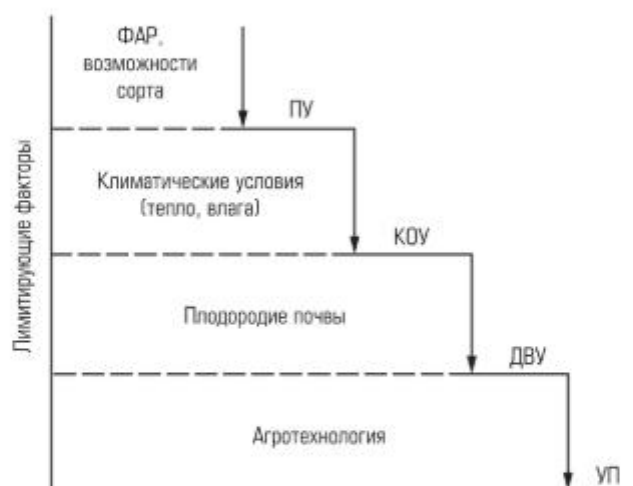


Рис. 16.1. Категории урожайности

Решение задачи приближения ДВУ к КОУ предусматривает проведение долгосрочных мероприятий по повышению плодородия сельскохозяйственных полей с целью создания почвенных условий, близких к оптимальным.

Резервы повышения КОУ — более рациональное районирование культур и размещение их в ландшафтных структурах, создание сортов, пластичных к изменчивости погодных условий, принципиальное совершенствование агротехнологий (введение орошения, осушения или тепловых мелиораций, внедрение новых, более эффективных способов борьбы с опасными для сельского хозяйства метеорологическими явлениями и т.д.).

Имеются два различных подхода к расчету агроэкологических категорий продуктивности. Первый из них базируется на использо-

вании динамических моделей формирования урожая, детально описывающих процессы роста и развития растений (Х.Г. Тооминг, Ю.В. Сепп, Ю.К. Росс, О.Д. Сиротенко, Р.А. Полуэктов и др.). Однако данный подход довольно сложен, требует большого объема разнотипной информации.

Более просто — оценивать ПУ, КОУ и ДВУ по обобщенным почвенно-климатическим показателям. Подобные расчеты базируются на использовании статистических связей урожая с лимитирующими почвенно-климатическими факторами, менее трудоемки и, как показывает опыт, во многих случаях обеспечивают достаточную для практических целей точность. Поэтому рассмотрим такие упрощенные расчетные схемы.

## 16.2. РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УРОЖАЙНОСТИ

Потенциальную урожайность определяют по приходу и использованию ФАР в посевах. ПУ абсолютно сухой биомассы вычисляют по формуле (т/га)

$$ПУ = \frac{\Sigma Q_{\text{ФАР}} \text{КПД}_{\text{ФАР}}}{100q}, \quad (16.1)$$

где  $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  — сумма ФАР за период вегетации рассматриваемой культуры, МДж/га;  $\text{КПД}_{\text{ФАР}}$  — коэффициент полезного действия ФАР, %;  $q$  — удельная теплота сгорания органического вещества ( $q = 18 \cdot 10^3 \dots 20 \cdot 10^3$  МДж/т).

Значения  $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  могут быть взяты из климатических справочников и атласов. Даты начала и конца вегетации культуры приводятся в областных агроклиматических справочниках или их можно получить на ближайшей агрометеостанции.

Современные высокопродуктивные сорта сельскохозяйственных культур при благоприятных условиях и высокой агротехнике могут использовать и запасать в урожае 5...6% ФАР, производственные же посевы пока имеют низкий  $\text{КПД}_{\text{ФАР}} = 0,5 \dots 1,5\%$  (см. гл. 2).

Урожайность абсолютно сухой биомассы ( $Y$ ) в урожайность хозяйственно полезной (основной) продукции (зерно, клубни и т.п.) при средней влажности ( $Y_{\text{н.п}}$ ) пересчитывают по соотношению

$$Y_{\text{н.п}} = \frac{100Y}{(100 - \omega)\alpha}, \quad (16.2)$$

где  $\omega$  — средняя влажность основной продукции, % (табл. 16.1);  $\alpha$  — сумма частей основной и побочной продукции в общей урожайности абсолютно сухой биомассы.

Таблица 16.1

**Среднее содержание влаги в некоторых видах продукции**

Культура	Влажность, %	Культура	Влажность, %
Пшеница, рожь, ячмень, овес	14	Корнеплоды	85
Многолетние травы (на сено)	16	Кукуруза на силос	70
Картофель	80	Викоовсяная смесь на зеленый корм	75

Соотношение основной ( $m_1$ ) и побочной ( $m_2$ ) продукции зависит от уровня агротехники и географической широты (при прочих равных условиях на юге доля полезной продукции больше, чем в северных районах).

Ориентировочные данные о соотношении  $m_1$  и  $m_2$  приведены в табл. 16.2.

С учетом формулы (16.2) потенциальную урожайность хозяйственно полезной продукции ( $ПУ_{п.п}$ ) при средней влажности можно рассчитать по формуле (т/га)

$$ПУ_{п.п} = \frac{100ПУ}{(100 - \omega)\alpha} \quad (16.3)$$

Таблица 16.2

**Соотношение масс основной ( $m_1$ ) и побочной ( $m_2$ ) продукции для различных культур**

Культура	$m_1 : m_2$	Культура	$m_1 : m_2$
Озимая пшеница	1 : 1,5	Овес	1 : 1,3
Озимая рожь	1 : 2,0	Кукуруза	1 : 1,1
Яровая пшеница	1 : 0,7	Картофель	1 : 0,7
Ячмень	1 : 1,2	Свекла кормовая	1 : 0,4

**16.3. РАСЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИ ОБЕСПЕЧЕННОЙ УРОЖАЙНОСТИ**

Поскольку КОУ согласно определению характеризует продуктивность посева, которая теоретически может быть достигнута при конкретных климатических условиях, значение КОУ может быть рассчитано на основе общего соотношения, предложенного Х.Г. Томингом (т/га):

$$КОУ = K_M ПУ, \quad (16.4)$$

где  $K_M$  — коэффициент благоприятствования погодных условий,  $K_M = 0 \dots 1$ ; ПУ — потенциальная урожайность, т/га.

Лимитирующее влияние климата обычно проявляется в форме природного ограничения на ресурсы тепла или влаги. В частности, если в рассматриваемом регионе отмечается недостаток влаги, то

$$K_M = \frac{E}{E_0}, \quad (16.5)$$

где  $E$  и  $E_0$  — соответственно фактическое и максимально возможное испарение (испаряемость), мм.

Значения  $E$  и  $E_0$  можно взять из справочников или определить, воспользовавшись соотношением

$$E = W_n - W_k + r, \quad (16.6)$$

$$E_0 = 0,24\Sigma R,$$

где  $W_n$  и  $W_k$  — соответственно запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см на начало и конец периода вегетации культуры, мм;  $r$  — осадки за тот же период, мм;  $\Sigma R$  — сумма радиационного баланса за тот же период, МДж/м<sup>2</sup>.

И тогда

$$КОУ = \frac{E}{E_0} ПУ, \quad (16.7)$$

или

$$КОУ = \frac{W_n - W_k + r}{0,24\Sigma R}. \quad (16.8)$$

Оценить климатически обеспеченную урожайность можно без определения потенциальной, например, по методу А.М. Рябчикова, который учитывает водные и тепловые ресурсы:

$$ГТП = \frac{lWn}{36\Sigma R}, \quad (16.9)$$

где ГТП — биогидротермический потенциал продуктивности в баллах;  $l$  — переводной коэффициент, равный 42 МДж/(мм · м<sup>2</sup>);  $W$  — запасы продуктивной влаги, которые в первом приближении определяют как разность между годовой суммой осадков и непроемчивыми потерями воды на сток и испарение, составляющими в зависимости от условий (рельеф местности, тип почвы и т.д.) 20...40% годовой суммы осадков, мм;  $n$  — продолжительность периода вегетации культуры (число декад);  $\Sigma R$  — годовая сумма радиационного баланса, МДж/м<sup>2</sup>.

Климатически обеспеченная урожайность сухой биомассы связана с ГТП эмпирическим соотношением

$$КОУ = 2,2ГТП - 1,0. \quad (16.10)$$

Оценить климатически обеспеченную урожайность без определения потенциальной можно также по соотношению И.С. Шатилова:

$$КОУ = \frac{10(W_{\text{вес}} + \mu r)}{K_{\text{в}}}, \quad (16.11)$$

где  $W_{\text{вес}}$  — весенние запасы продуктивной влаги в слое 0...100 см, мм;  $\mu$  — коэффициент использования осадков почвой (для горизонтального поля  $\mu = 0,8$ );  $r$  — сумма осадков за период вегетации культуры, мм;  $K_{\text{в}}$  — коэффициент водопотребления.

*Коэффициент водопотребления* показывает, какое количество воды расходуется на формирование единицы растительной биомассы (полезной продукции или хозяйственного урожая) рассматриваемой культуры (табл. 16.3).

Таблица 16.3

**Ориентировочные значения коэффициента водопотребления некоторых культур в зависимости от увлажненности года для Нечерноземной зоны (по А.В. Гордееву), (мм/т)га**

Культура	Год		
	Влажный	Средний	Засушливый
Озимая пшеница	375...450	450...500	500...525
Озимая рожь	400...425	425...450	450...550
Ячмень	375...425	425...500	500...530
Овес	435...480	480...530	530...590
Кукуруза (зерно)	250...275	275...300	300...325
Картофель	150...175	175...200	200...225
Многолетние травы	500...550	550...600	600...700

Пересчитывают климатически обеспеченную урожайность абсолютно сухой биомассы в КОУ полезной продукции при средней влажности ( $КОУ_{\text{п.п}}$ ) по формуле (16.2).

Есть методы прямого расчета климатически обеспеченной урожайности хозяйственно полезной (основной) продукции, например:

$$КОУ_{\text{п.п}} = \frac{10^3 W}{K_{\text{в}} \alpha (100 - \omega)}, \quad (16.12)$$

где  $W$  — то же, что и в формуле (16.9);  $K_n$  — то же, что и в формуле (16.11);  $\alpha$  и  $\omega$  — то же, что и в формуле (16.2).

Еще одна возможность косвенного расчета  $KOU_{п.п}$  — использование, например, методики Д.И. Шашко, согласно которой урожай, лимитируемый естественными ресурсами тепла и влаги, рассчитывают по эмпирической формуле

$$KOU_{п.п} = m \text{БКП}, \quad (16.13)$$

где  $m$  — коэффициент, зависящий от вида возделываемой культуры и условий влагообеспеченности (табл. 16.4); БКП — биоклиматический потенциал (см. разд. 13.1).

Таблица 16.4

**Значения коэффициента  $m$  для разных культур и условий влагообеспеченности**

Культура	Значения $m$ при коэффициенте увлажнения $Md$			
	0,25	0,35	0,45	0,55
Озимая пшеница	1,26	1,23	1,24	1,14
Озимая рожь	1,26	1,24	1,25	1,15
Яровая пшеница	1,19	1,16	1,13	1,01
Овес	1,47	1,17	1,58	1,45
Ячмень	1,63	1,62	1,60	1,47
Кукуруза	1,47	1,49	1,51	1,40

Примечание. Коэффициент  $Md$  определяется как  $Md = \lg(20r/d)$ , где  $r$  и  $d$  — годовые суммы осадков и дефицита влажности воздуха.

Ввиду эмпирического характера описанных методик расчет  $KOU$  в каждом конкретном случае целесообразно проводить различными способами и из полученных значений выбрать меньшее. Для ориентировочной оценки за  $KOU$  можно принять урожайность на госсортоучастках (ГСУ).

#### 16.4. РАСЧЕТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ УРОЖАЙНОСТИ

Климатически обеспеченная урожайность может быть достигнута только на хорошо окультуренных землях, характеризующихся высоким естественным почвенным плодородием. При одинаковых агроклиматических условиях (одинаковых  $KOU$ ) на низком агрофоне урожайность, естественно, будет меньше. Эту закономерность учитывают, вводя категорию действительно возможной урожайности (ДВУ), которая меняется от поля к полю и которую вычисляют по формуле (т/га)

$$\text{ДВУ} = k_n \text{КОУ}, \quad (16.14)$$



где  $k_n$  — безразмерный коэффициент, характеризующий степень благоприятности почвенных условий для возделывания той или иной культуры на конкретном поле.

Коэффициент  $k_n$  ( $k_n = 0...1$ ) зависит от почвенного плодородия и в первом приближении может быть отождествлен с бонитетом почвы (Б), выраженным в долях единицы:

$$\text{ДВУ} = \text{Б} \cdot \text{КОУ} \quad (16.5)$$

На практике такая формула иногда может давать заниженную расчетную урожайность, особенно для полей с невысоким бонитетом. Поэтому можно рекомендовать пользоваться соотношением более общего вида:

$$\text{ДВУ} = \text{Б}^b \cdot \text{КОУ}, \quad (16.16)$$

где  $b$  — эмпирический коэффициент, значения которого меньше единицы.

Значение  $b$  находят, сопоставляя урожайности, получаемые в хозяйствах на полях с разным бонитетом.

Ввиду ежегодной изменчивости погодных условий расчет следует проводить не только для средних многолетних агрометеорологических (агроклиматических) условий, но и для условий, отвечающих 80- или 90%-й обеспеченности теплом и влагой.

#### 16.5. ВЫБОР УРОВНЯ ПРОГРАММИРУЕМОЙ УРОЖАЙНОСТИ

Как уже отмечалось, ПУ, КОУ и ДВУ — агроэкологические категории, зависящие от особенностей выращиваемой культуры и почвенно-климатических факторов. В отличие от них Пр.У — категория хозяйственно-экономическая. Это урожайность, на получение которой ориентируется агротехнология и разрабатываются основные агротехнические мероприятия (норма высева, глубина заделки семян, нормы удобрений и т.п.), с учетом экономических показателей. Хорошо известно, что максимальные урожаи практически никогда не являются самыми выгодными в экономическом отношении. И критерий «максимальный урожай любой ценой», конечно, не может быть положен в основу разумной системы хозяйствования.

Есть несколько методов подхода к обоснованию Пр.У, различающихся количеством необходимой информации. Например, Е.Е. Жуковским построена вероятностная методика выбора оптимального Пр.У. Она учитывает случайный характер и климатическую изменчивость ДВУ, ценность производимой сельскохозяйственной продукции и затраты на агротехнологию, которые, как и ДВУ, могут меняться от одного поля к другому. Т.Н. Кулаковская при обосновании Пр.У рекомендует учитывать ДВУ через бонитет почвы, урожай-

ную цену балла и прибавку урожайности от внесенных удобрений. В этих и подобных методиках используют различные коэффициенты, которые устанавливают эмпирически. Для их определения необходимо располагать данными по урожайности с различных по бонитету полей, о хозяйственно-экономических потерях и т.д. Поэтому в хозяйстве должны быть детально обследованы все угодья и составлен на каждое поле паспорт, тщательно ведется история полей, проводится детальный экономический анализ.

В тех случаях, когда необходимой для подобных расчетов информации нет, с допустимой для практических целей точностью Пр.У можно рассчитать через климатически обеспеченную урожайность с учетом бонитета почвы, т.е. приравнять его к среднему многолетнему ДВУ.

Располагая значениями Пр.У для каждого поля, целесообразно подсчитать среднее значение Пр.У для всего хозяйства в целом и сравнить с фактической урожайностью. Такой анализ покажет, каковы реальные резервы повышения продуктивности и какими путями эти резервы могут быть реализованы.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях экономически оптимальный уровень Пр.У может быть как выше, так и ниже действительно возможной урожайности. Это зависит от уровня технологической дисциплины в хозяйстве, т.е. насколько выдерживается агротехника при выращивании сельскохозяйственных культур.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое программирование урожайности?
2. Перечислите принципы, положенные в основу программирования.
3. Какие исходные данные используют при программировании урожайности?
4. Перечислите основные категории урожайности.
5. Чем определяется уровень потенциальной урожайности?
6. Назовите климатические факторы, лимитирующие климатическую урожайность.
7. От чего зависит действительно возможная урожайность?
8. Что характеризует хозяйственная урожайность?
9. Что необходимо учитывать при выборе уровня программируемой урожайности?
10. Как можно оценить резервы повышения продуктивности агроценозов?

## ЛИТЕРАТУРА

---

### ОСНОВНАЯ

1. *Адаменко В.Н.* Мелиоративная микроклиматология. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
2. *Алпатьева М.* Влагообороты в природе и их преобразования. Л.: Гидрометеиздат, 1969.
3. *Белобородова Г.Г.* Агрометеорологические основы повышения продуктивности плодового сада. Л.: Гидрометеиздат, 1982.
4. *Вериго С.А., Разумова Л.А.* Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Л.: Гидрометеиздат, 1963.
5. *Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д.* Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. СПб.: Гидрометеиздат, 2005.
6. *Лосев А.П.* Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. СПб.: Гидрометеиздат, 1994.
7. *Мищенко З.А.* Агроклиматология. Киев: КНТ, 2009.
8. *Моисейчик В.А.* Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1975.
9. *Полевой А.Н.* Сельскохозяйственная метеорология. СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
10. *Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Береснева И.А.* Микроклиматология и ее значение. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
11. *Сенников В.А., Ларин Л.Г., Белолубцев А.А., Коровина Л.Л.* Практикум по агрометеорологии. М.: Колос, 2006.
12. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. И.Г. Грингофа. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
13. *Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977.
14. *Уланова Е.С., Забелин В.Н.* Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
15. *Федосеев А.П.* Агротехника и погода. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
16. *Федосеев А.П.* Погода и эффективность удобрений. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
17. *Чирков Ю.И.* Агрометеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
18. *Шульгин А.М.* Агрометеорология и климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1978.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. *Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А. и др.* Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата. М., 2008.
2. *Гулинова Н.В.* Методы агроклиматической обработки наблюдений. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
3. *Дервянко А.Н.* Погода и качество зерна озимых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
4. *Жуков В.А., Полевой А.Н., Витченко А.Н., Даниелов С.А.* Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
5. *Зойдзе Е.К.* Погода, климат и эффективность труда в земледелии. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
6. *Зойдзе Е.К., Овчаренко Л.И.* Сравнительная оценка сельскохозяйственного потенциала климата территории РФ и степени использования ее агроклиматических ресурсов сельскохозяйственными культурами. СПб.: Гидрометеиздат, 2000.
7. *Кельчевская Л.С.* Влажность почв европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
8. *Клещенко А.Д.* Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
9. *Константинов Л.К.* Защита сада от резких колебаний температуры и заморозков. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
10. *Коровин А.И.* Растения и экстремальные температуры. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
11. *Лосев А.П.* Сборник задач и вопросов по агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
12. *Мельник Ю.С.* Климат и произрастание подсолнечника. Л.: Гидрометеиздат, 1972.
13. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Ч. 1: Основные агрометеорологические наблюдения. Кн. 1, 2. Л.: Гидрометеиздат, 2000.
14. *Пасечнюк А.Д.* Погода и полегание зерновых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
15. *Поляков И.Я., Персов М.П., Смирнов В.А.* Прогноз развития вредителей и болезней сельскохозяйственных культур (с практикумом). М.: Колос, 1984.
16. Руководство по агрометеорологическим прогнозам: В 2 т. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
17. *Сверлова Л.И.* Ресурсы биосферы Земли и продуктивность сельскохозяйственных культур. М.: Мегалион, 2008.

18. *Страшная А.И.* Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая семян многолетних сеяных трав на европейской части СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1988.

19. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002.

20. *Уланова Е.С.* Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975.

21. *Цупенко Н.Ф.* Справочник агронома по метеорологии. Киев: Гидрометеоиздат, 1990.

22. *Шашко Д.И.* Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.

23. *Шульгин И.А.* Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеоиздат, 1972.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

---

### А

Абсолютный минимум (максимум) температуры 85  
Агроклиматические  
аналоги 289  
ресурсы 271  
условия 271  
Агроклиматическое районирование  
общее 272  
частное 282  
Агрометеорология 5  
Актинометр 35, рис. 2.2, а  
Альбеда 32  
Амплитуда 56  
Анемометр 161, рис. 9.5  
Анеморумбометр 161, рис. 9.6  
Антициклон 162  
Аспирационный психрометр 98, рис. 5.5  
Атмосфера 14  
Атмосферное давление 154  
Атмосферный фронт 173  
Аэрация почвы 16  
Аэрозоль 14

### Б

Баланс  
водный 146  
радиационный 34  
тепловой 54  
Балансомер 35, рис. 2.2, в  
Барограф 160, рис. 9.3, в  
Барометр-анероид 159, рис. 9.3, б  
ртутный чашечный 159, рис. 9.3, а  
Биоклиматический потенциал 278  
Борá 168  
Бриз 166, рис. 9.10

### В

Венцы 116  
Ветер 156  
Ветровая эрозия (дефляция) 239

### Влагодетельность почвы

капиллярная 140  
наименьшая 140  
полная 140

### Влага

гравитационная 137  
капиллярная 136  
связанная 135

### Влажность

разрыва капилляров 139  
устойчивого завядания 139

### Влажность воздуха

абсолютная 92  
относительная 92

### Водяной пар 19

### Воздух 14

### Воздушная масса

теплая 173  
холодная 173

### Волосной гигрометр 100, рис. 5.6

### Встречное излучение атмосферы 33

### Выдувание озимых 267

### Вымерзание растений 262

### Вымокание растений 265

### Выпирание озимых 266

### Выпревание растений 263

### Г

### Гало 116

### Гелиограф 47, рис. 2.6

### Гигрограф волосной 100, рис. 5.7

### Гидротермический коэффициент (ГТК) 205

### Гистограмма 124

### Град 242

### Гололед 269

### Горизонтальный барический коэффициент 156

### Горно-долинный ветер 167

### Д

### Дефицит

влаги в почве 140

насыщения водяного пара 93  
Деятельный (активный) слой 61  
Дождемер  
    полевой 124, рис. 7.3  
    почвенный 124  
Дымка 114

### **З**

Заморозки  
    адвективные 245  
    радиационные 246  
    смешанные 246  
Запас воды в снежном покрове 129  
Засуха 228  
    атмосферная 229  
    зимняя 267  
    почвенная 229  
Захват зерна 228  
Зимостойкость растений 260

### **И**

Изморозь 112  
Изобары 155  
Изотермы 86  
Инверсия температуры 82  
Иней 112  
Инерционные факторы 304  
Инсоляция 29  
Интенсивность радиации 27  
Ионосфера 24  
Испарение 103  
Испаряемость 104

### **К**

Климат 184  
Климатическая поправка 200  
Климатология 185  
Компенсационная точка 39  
Конденсация 110  
Коэффициент  
    водопотребления 335  
    температуропроводности почвы 59  
    теплопроводности 58  
    транспирации 105  
    увлажнения 205  
Кулисы 132

### **Л**

Ледяная корка 265  
Лимитирующие факторы 304  
Люксметр 43, рис 2.5

### **М**

Максимальная гигроскопичность почвы 138  
Мезоклимат 214  
Мелиорация микроклимата 222  
Мерзлотомер 70, рис. 3.7, 11  
Местные ветры 166  
Метеорологические величины 171  
Методы агрометеорологических исследований 6  
Микроклимат 214  
Микроклиматическая карта 220  
Мониторинг 21  
Морозобоины 268  
Морозостойкость растений 261  
Мульчирование 35  
Муссоны 163

### **Н**

Недостаток насыщения водяного пара 93  
Недоступная влага 138

### **О**

Облака 114  
Облака  
    вертикального развития 115  
    верхнего яруса 115  
    внутримассовые 114  
    нижнего яруса 115  
    орографические 114  
    среднего яруса 115  
    фронтальные 114  
Озон 17  
Оранжерейный эффект атмосферы 33  
Осадки  
    жидкие 120  
    ливневые 120  
    морозящие 121  
    обложные 120  
    смешанные 120  
    твердые 120

Осадкомер Третьякова 124, рис. 7.2  
Оттепель 268  
Оценка  
    перезимовки и вымерзания 210  
    теплообеспеченности 201  
    ресурсов климата 199  
    увлажнения и влагообеспеченности 204

## П

Парниковый эффект атмосферы 33  
Парциальное давление водяного пара 92  
Пассаты 163  
Пиранометр 35, рис. 2.2, 6  
Плотность снега 129  
Плювиограф 124, рис. 7.4  
Погода 171  
Поток радиации 27  
Почвенный  
    воздух 15  
    испаритель 107, рис. 6.1  
Предикторы 322  
Продуктивная влага 142  
Психрометрическая будка 83, рис. 4.5  
Пыльные бури 239

## Р

Радиация  
    длинноволновая 37  
    коротковолновая 37  
Растения короткого (длинного) дня 45  
Роза ветров 156  
Роса 111

## С

Световая кривая фотосинтеза 39  
Световой эквивалент радиации 44  
Сельскохозяйственная метеорология 5  
Синоптическая карта 180, рис. 10.3  
Скорость испарения 103  
Смог 20  
Снегомер весовой 129, рис. 7.5  
Снегомерная съемка 129  
Снегосгонка 134

Снежные мелиорации 132  
Снежный покров 128  
Собственное излучение Земли 33  
Солнечная постоянная 28  
Солнечная радиация  
    прямая 28  
    рассеянная 30  
    суммарная 30  
    отраженная 32  
Солнечный ожог 268  
Средний из абсолютных минимумов (максимумов) 85  
Средний минимум (максимум) 85  
Средняя температура  
    годовая 85  
    декадная 85  
    месячная 85  
    суточная 84  
Станционный психрометр 98, рис. 5.4  
Стекание зерна 111  
Стратосфера 22  
Сублимация 110  
Сумма температур  
    активных 88  
    биологических 199  
    эффективных 88  
Суммарное испарение 106  
Суховой 228

## Т

Температура  
    активная 88  
    балластная 88, 310  
    критическая 252  
    эффективная 88  
Температурные границы жизни 90  
Температурные шкалы 70, рис. 3.7,  
III  
Температуропроводность 59  
Тепловая конвекция 77  
Теплоемкость  
    объемная 58  
    удельная 58  
Теплопроводность  
    молекулярная 77  
    радиационная 78  
    турбулентная 77



Термические ресурсы 199

Термограф 84, рис. 4.6

Термоизоплеты 62

Термометр

- вытяжной 70, рис. 3.7, I, ж
- коленчатый 67, рис. 3.7, I, в
- максимально-минимальный 70, рис. 3.7, I, и
- максимальный 67, рис. 3.7, I, а
- минимальный 67, рис. 3.7, I, б
- психометрический 84
- сопротивления 70, рис. 3.7, I, з
- срочный 67
- транзисторный 67, рис. 3.7, I, д
- трость агронома 70, рис. 3.7, I, е
- щуп 67, рис. 3.7, I, г

Термосфера 24

Тип излучения 62  
инсоляции 62

Точка росы 93

Транспирация 105

Трансформация воздушных масс 173

Тропосфера 22

Туманы 112

## У

Упругость насыщения водяного пара 92

Уровень «плато» 39

Урожайность

- действительно возможная 330
- климатически обеспеченная 330

потенциальная 330

программируемая 330

хозяйственная 330

## Ф

Фён 167, рис. 9.11

Фитоклимат 97

Фитотрон 221

Флюгер стационарный 160, рис. 9.4

Фотопериодическая реакция растений (фотопериодизм) 9, 45

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) 38

Фреоны 18

Фронт

- теплый 173
- холодный 175
- оклюзии 177

## Ц

Циклон 162

Циклоническая деятельность 163

Циркуляция атмосферы (общая) 161

## Э

Эвапотранспирация 106

Экзосфера 24

Эффективное излучение 33

## Я

Ядра конденсации (сублимации) 111

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие .....	3
Введение .....	4
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	13
<b>Глава 1</b>	
<b>ЗЕМНАЯ АТМОСФЕРА КАК СРЕДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО     ПРОИЗВОДСТВА</b> .....	14
1.1. Состав приземного слоя атмосферы и почвенного воздуха .....	14
1.2. Значение основных газов воздуха для биосферы .....	16
1.3. Загрязнение атмосферного воздуха и меры борьбы с ним .....	19
1.4. Строение атмосферы .....	22
1.5. Методы исследования атмосферы .....	24
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	26
<b>Глава 2</b>	
<b>ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ</b> .....	27
2.1. Солнце — источник энергии природных процессов .....	27
2.2. Потoki лучистой энергии .....	27
2.3. Радиационный баланс земной поверхности .....	34
2.4. Приборы для измерения лучистой энергии .....	35
2.5. Лучистая энергия и растения .....	36
2.6. Радиационный режим посевов .....	48
2.7. Пути более полного использования солнечной радиации в сельском хозяйстве .....	51
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	53
<b>Глава 3</b>	
<b>ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ</b> .....	54
3.1. Тепловой баланс земной поверхности .....	54
3.2. Суточный и годовой ход температуры поверхности почвы .....	56
3.3. Теплофизические характеристики почвы .....	57
3.4. Закономерности распространения тепла в почве .....	60
3.5. Влияние рельефа, растительного и снежного покрова на температуру почвы .....	63
3.6. Промерзание почвы. Вечная (многолетняя) мерзлота .....	64
3.7. Измерение температуры, глубины промерзания почвы .....	67
3.8. Значение температуры почвы для растений .....	71
3.9. Методы регулирования температурного режима почвы .....	73
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	76
<b>Глава 4</b>	
<b>ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОЗДУХА</b> .....	77
4.1. Процессы нагревания и охлаждения воздуха .....	77
4.2. Суточный и годовой ход температуры воздуха .....	78
4.3. Изменение температуры воздуха с высотой .....	81
4.4. Измерение температуры воздуха .....	83
4.5. Показатели температурного режима .....	84
4.6. Значение температуры воздуха для сельскохозяйственного производства .....	89
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	91

<b>Глава 5</b>		
	<b>ВОДЯНОЙ ПАР В АТМОСФЕРЕ .....</b>	<b>92</b>
5.1.	Влажность воздуха. Характеристики содержания водяного пара в атмосфере .....	92
5.2.	Изменение влажности воздуха в атмосфере с высотой .....	93
5.3.	Суточный и годовой ход влажности воздуха .....	94
5.4.	Влажность воздуха в растительном покрове .....	96
5.5.	Методы и приборы для измерения влажности воздуха .....	98
5.6.	Значение влажности воздуха для сельскохозяйственного производства .....	100
	<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	102
<b>Глава 6</b>		
	<b>ИСПАРЕНИЕ ВОДЫ И КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНОГО ПАРА.....</b>	<b>103</b>
6.1.	Испарение и испаряемость .....	103
6.2.	Испарение с поверхности воды, почвы и растений .....	104
6.3.	Суточный и годовой ход испарения .....	106
6.4.	Методы определения испарения и испаряемости .....	107
6.5.	Методы регулирования испарения с сельскохозяйственных полей .....	109
6.6.	Конденсация и сублимация водяного пара .....	110
	<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	119
<b>Глава 7</b>		
	<b>ОСАДКИ.....</b>	<b>120</b>
7.1.	Виды и типы осадков .....	120
7.2.	Суточный и годовой ход осадков. Распределение осадков на земной поверхности .....	122
7.3.	Методы измерения осадков .....	124
7.4.	Значение осадков для сельского хозяйства .....	125
7.5.	Активное воздействие на облака .....	127
7.6.	Снежный покров .....	128
	<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	134
<b>Глава 8</b>		
	<b>ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА .....</b>	<b>135</b>
8.1.	Основные свойства почвенной влаги и механизмы ее передвижения .....	135
8.2.	Агрогидрологические свойства почвы .....	137
8.3.	Методы определения влажности почвы .....	141
8.4.	Продуктивная влага .....	142
8.5.	Годовой ход запасов продуктивной влаги в различных почвенно-климатических зонах России .....	144
8.6.	Водный баланс поля .....	146
8.7.	Регулирование водного режима почвы .....	148
8.8.	Влияние влажности почвы на сельскохозяйственные культуры .....	152
	<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	153
<b>Глава 9</b>		
	<b>АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ. ВЕТЕР.....</b>	<b>154</b>
9.1.	Атмосферное давление .....	154
9.2.	Характеристики ветра .....	156
9.3.	Суточный и годовой ход скорости ветра .....	158
9.4.	Приборы для измерения атмосферного давления и характеристик ветра.....	169
9.5.	Ветры общей циркуляции атмосферы .....	161
9.6.	Местные ветры .....	166

9.7. Значение ветра в сельском хозяйстве .....	169
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	170
<b>Глава 10</b>	
<b>ПОГОДА И КЛИМАТ</b> .....	<b>171</b>
10.1. Воздушные массы .....	172
10.2. Атмосферные фронты .....	173
10.3. Погода в циклоне и антициклоне.....	175
10.4. Прогнозы погоды.....	179
10.5. Местные признаки погоды.....	184
10.6. Понятие о климате и климатообразующих факторах.....	184
10.7. Классификация климатов России .....	187
10.8. Изменение климата .....	190
10.9. Влияние изменения климата на аграрный сектор России .....	193
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	197
<b>Глава 11</b>	
<b>СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТА</b> .....	<b>198</b>
11.1. Методика сельскохозяйственной оценки климата .....	198
11.2. Оценка термических и световых ресурсов вегетационного периода .....	199
11.3. Оценка условий увлажнения вегетационного периода.....	204
11.4. Оценка условий перезимовки сельскохозяйственных культур.....	210
11.5. Микроклимат .....	213
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	226
<b>Глава 12</b>	
<b>ОПАСНЫЕ (НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ) ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ</b> .....	<b>227</b>
12.1. Опасные явления теплого периода.....	228
12.1.1. Засухи и суховеи .....	228
12.1.2. Ветровая эрозия почв.....	239
12.1.3. Град и причины его возникновения.....	242
12.1.4. Сильные ливневые дожди.....	243
12.1.5. Заморозки.....	245
12.2. Опасные явления холодного периода .....	259
12.2.1. Зимостойкость растений.....	260
12.2.2. Опасные явления и меры защиты от них .....	262
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	270
<b>Глава 13</b>	
<b>АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РОССИИ</b> .....	<b>271</b>
13.1. Общее агроклиматическое районирование .....	272
13.2. Частное агроклиматическое районирование .....	282
13.3. Агроклиматические аналоги .....	289
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	291
<b>Глава 14</b>	
<b>АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА</b> .....	<b>292</b>
14.1. Структурная организация и основные задачи агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства .....	292
14.2. Основные наблюдения, проводимые на гидрометеорологических станциях и постах.....	294
14.3. Основные виды и формы агрометеорологической информации .....	297
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	303

<b>Глава 15</b>	
<b>АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ .....</b>	<b>304</b>
15.1. Прогнозы агрометеорологических условий .....	305
15.2. Фенологические прогнозы .....	308
15.3. Прогнозы состояния зимующих культур.....	313
15.4. Прогнозы урожайности и качества урожая.....	316
15.5. Динамико-статистические модели формирования урожая сельскохозяйственных культур .....	322
15.6. Прогноз оросительных норм для зерновых культур.....	325
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>327</i>
<b>Глава 16.</b>	
<b>ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ.....</b>	<b>328</b>
16.1. Категории урожайности и их расчет .....	330
16.2. Расчет потенциальной урожайности .....	332
16.3. Расчет климатически обеспеченной урожайности .....	333
16.4. Расчет действительно возможной урожайности .....	336
16.5. Выбор уровня программируемой урожайности.....	337
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>338</i>
<b>Литература .....</b>	<b>339</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>342</b>

*По вопросам приобретения книг обращайтесь:*  
**Отдел продаж «ИНФРА-М» (оптовая продажа):**  
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1  
Тел. (495) 280-15-96; факс (495) 280-36-29  
E-mail: books@infra-m.ru

•  
**Отдел «Книга—почтой»:**  
тел. (495) 280-15-96 (доб. 246)

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

*Учебное издание*

**Журина Людмила Лукинична**

# **АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ**

**УЧЕБНИК**

Оригинал-макет подготовлен в НИЦ ИНФРА-М  
ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»  
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1  
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29  
E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 23.10.2017.  
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 21,88.  
ППТ30. Заказ № 00000

ТК 291400-947099-250515

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»  
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1  
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29