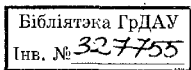


УДК 551.58(075.8) 63:551.58/075.8
ББК 40.2я73
Л79

Федеральная целевая программа книгоиздания России

Редактор *Н. М. Щербакова*

Рецензенты: д-р с.-х. наук *Ю. П. Паракин* (Мичуринская государственная сельскохозяйственная академия), д-р биол. наук *М. Н. Плеханова* (ВНИИ растениеводства) и канд. геогр. наук *М. Г. Софер* (Балтийский институт экологии, экономики и права)



Лосев А. П., Журина Л. Л.

Л79 Агрометеорология. — М.: Колос, 2001. с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

ISBN 5 — 10 — 003603 — 6.

Освещен широкий круг вопросов влияния агрометеорологических факторов на продуктивность сельскохозяйственного производства. Рассмотрены современные методы оценки климата с позиций сельскохозяйственного производства, а также принципы агроклиматического районирования. Показана сущность опасных для сельского хозяйства явлений погоды и обоснованы мероприятия по борьбе с ними. Приведены примеры агроклиматического обоснования агротехнических и мелиоративных приемов. Рассмотрены современные и перспективные методы агрометеорологических наблюдений и агрометеорологических прогнозов. Показано значение агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства.

Для студентов вузов по агрономическим специальностям.

УДК 551.58(075.8)
ББК 40.2я73

ISBN 5 — 10 — 003603 — 6

© Издательство «Колос», 2001

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 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, суrowsких 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, влияние погоды на урожай остается более значимым. Именно погода определяет агротехнику (сроки посева, норму высева, глубину заделки семян и т. д.), с изменением метеорологических условий должна меняться и агротехника.

Поэтому специалистам сельского хозяйства необходимо уметь эффективно использовать ресурсы климата и погоды для повышения продуктивности сельскохозяйственного производства, бороться с неблагоприятными метеорологическими явлениями. Для этого необходимо знать физические основы 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.

Предмет и задачи агрометеорологии

Агрометеорология, или сельскохозяйственная метеорология, — наука, изучающая метеорологические, климатические, гидрологические условия в их взаимодействии с объектами и процесса-

ми 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 животные, процессы сельскохозяйственного производства.

Важнейшие задачи агрометеорологии:

изучение и описание закономерностей формирования метеорологических и климатических условий сельскохозяйственного производства в пространстве и во времени;

разработка методов количественной оценки влияния метеорологических факторов на состояние почвы, развитие, рост и формирование урожая агрофитоценозов, на состояние сельскохозяйственных животных, 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 и пород животных, 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 методов борьбы с неблагоприятными и опасными для сельского хозяйства гидрометеорологическими явлениями.

В сельском хозяйстве используют разнообразную гидрометеорологическую информацию: при выборе проектных решений; при выработке плановых решений и принятии оперативно-хозяйственных решений.

При *выборе проектных решений* обосновывают рациональное размещение и специализацию сельского хозяйства, районирование культур и сортов сельскохозяйственных растений и пород животных, создание гидромелиоративных 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 агро-

метеорологическая и гидрологическая информация, анализируются сложившиеся агрометеорологические условия применительно к конкретным полям и культурам, а также гидрометеорологические прогнозы различной заблаговременности.

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

Методы агрометеорологических исследований

В агрометеорологии применяют следующие общие метеорологические методы исследований:

метод наблюдений заключается в том, что с помощью приборов на станциях, постах, в экспедициях наблюдают за метеорологическими характеристиками среды;

метод эксперимента сводится к постановке опытов в природных или лабораторных условиях по искусственному воспроизведению того явления (процесса), который представляет интерес для сельскохозяйственного производства;

метод теоретического анализа основан на изучении агрометеорологических явлений (процессов) с использованием законов физики, биологии, термодинамики и других наук и с привлечением математического аппарата для получения выявленных теоретическим путем закономерностей в количественной форме.

При решении ряда агрометеорологических проблем указанные общие методы получили дальнейшее развитие.

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.

Метод ушаченных сроков сева предполагает высев растений через каждые, например, 5...10 дней, 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 ре-

акции 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 учащенных сроков сева, так как посевы 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 изменяются агрометеорологические условия возделывания растений (регулируются по программе опыта температура и влажность почвы, продолжительность и интенсивность освещения, высота 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, установленной 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 матема-

тического 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 относят ветер, облачность, туман, ориентацию и крутизну 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. Все они необходимы растениям. 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 количество влаги служит лимитирующим фактором урожая. Урожай растений будет возрастать при устранении этого минимума и до тех пор, пока в недостатке не окажется другой фактор.

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 непрерывном притоке всех необходимых факторов жизни в оп-

тимальном 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, 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 во 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 более 260 лет назад (в 1733 г.) участниками Великой северной экспедиции. Она охватывала территорию от Екатеринбурга до Якутска.

Большую роль в развитии метеорологии сыграл 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.

Ломоносов указал на важность и необходимость изучения 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 него» не потеряли актуальности и в наше время.

Родиной агрометеорологии явилась Россия. Основоположниками агрометеорологии как науки были ученые Александр Иванович Воейков и Петр Иванович Броунов.

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) А. И. Воейков подробно описал взаимосвязь между климатом и растительностью. Им впервые были оценены 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 наблюдений на них.

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 в 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 1932 г. в Ленинграде на базе созданного П. И. Броуновым отдела был организован Агрогидрометеорологический институт (АГМИ) и несколько позднее — Институт засухи в Саратове. В этих институтах были развернуты агрометеорологические иссле-

дования. Разрабатывалась теория агрометеорологических прогнозов, была составлена первая карта агроклиматического районирования СССР, опубликован «Мировой агроклиматический справочник». Большая заслуга в этом принадлежит Г. Т. Селянинову, С. И. Небольсину, П. И. Колоскову.

В 1936 г. опубликовано первое в стране учебное пособие «Сельскохозяйственная метеорология», написанное Р. Э. Давидом и его сотрудниками.

В 50-е годы организуются региональные (зональные) научно-исследовательские гидрометеорологические институты, в которых были созданы отделы агрометеорологических исследований.

В 60-е годы в Гидрометцентре СССР, в региональных гидрометеорологических институтах разработаны и внедрены в оперативную практику методы агрометеорологических прогнозов урожая основных сельскохозяйственных культур, прогнозов перезимовки озимых культур (Е. С. Уланова, В. А. Мойсейчик, Ю. И. Чирков 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 60–80-х годов 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.).

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 этой науки.

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 Северо-Американского 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.

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), углекислого газа (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 углекислого газа, озона и некоторых других газов несколько изменяется во времени и в пространстве.

1.1. Состав сухого воздуха

Газ	Молярная масса, г/моль	Содержание, % объема	Плотность	
			абсолютная, г/м ³	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
Углекислый газ	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

Газ	Молярная масса, г/моль	Содержание, % объема	Плотность	
			абсолютная, г/м ³	по отношению к сухому воздуху
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	$(0 \dots 0,07) \cdot 10^{-4}$	2140	1,624
Сухой воздух	28,966	100	1293	1,000

Кроме того, в атмосфере всегда присутствуют взвешенные твердые и жидкие частицы как природного происхождения (частицы почвенной пыли, морской соли, споры растений, капли 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 *аэрозо-лем*.

В природе воздух также содержит воду в газообразном, жидком и твердом состояниях. Водяной пар поступает в атмосферу в результате испарения воды с земной поверхности и распространяется в атмосфере вследствие перемешивания воздуха. Влажность содержания 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 болотные 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 воздухо-

носных пор, т. е. ухудшаются условия газообмена. Кроме того, от содержания влаги в почве и температуры зависит интенсивность биологических и биохимических процессов, а следовательно, потребление кислорода и продуцирование углекислого газа. В результате содержание CO_2 в почвенном воздухе может достигать 1,0...1,2 % (в заболоченных почвах до 6 %), O_2 — опускаться ниже 20 %, а содержание N_2 может колебаться от 78 до 87 %.

Между атмосферой и почвой существует непрерывный воздухообмен — *аэрация* почвы, которая обусловлена в основном диффузией газов, а также действием ветра и колебаниями атмосферного давления. Интенсивность газообмена зависит и от структуры почвы. При комковатой структуре аэрация происходит интенсивнее, чем при пылеватой. 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, углекислый газ и водяной пар.

Азот — газ, преобладающий в атмосфере. Он имеет особое значение в почвенном питании растений. 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 клубеньковых бактерий, поселяющихся на их корнях, относятся бобовые культуры (горох, фасоль, клевер, люцерна и др.). За один вегетационный период они накапливают от 40...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.

Кислород необходим для дыхания, разложения органического вещества, гниения и горения. При взаимодействии органичес-

ких веществ с кислородом (окисление) в клетках живых организмов выделяется энергия, обеспечивающая жизнедеятельность растений и животных. Поэтому обогащение почвы кислородом, которое достигается при улучшении аэрации почвы, способствует деятельности почвенных бактерий, росту корневой системы и, следовательно, улучшению почвенного питания растений. Корнями древесных растений потребляется за сутки около 1 мг кислорода на каждый грамм растущих корней.

Особое значение в атмосфере имеет озон, т. е. трехатомный кислород O_3 . Он находится в слое от земной поверхности до высоты около 70 км. Общая масса озона в атмосфере составляет около $3,2 \cdot 10^9$ т. Максимальное количество озона (90 %) содержится на высотах от 10...17 до 50 км (в зависимости от широты и времени года). Этот слой атмосферы называют *озоновым слоем* или *озоносферой*. Плотность озона очень мала: в слое 0...70 км в среднем она равна $90 \cdot 10^{-6}$ г/м³. И если его привести к нормальному давлению (1013 гПа) при температуре 0 °С, то получится слой толщиной всего 1...6 мм. Однако даже это малое количество озона имеет очень важное значение для жизни на Земле. Озоновый слой — защитный слой. 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, 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, в производстве косметики и разных растворителей. Фреоны легче воздуха и безобидны в приземных слоях воз-

духа, 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.

Углекислый газ — 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 углекислого газа и воды органическое вещество. Углекислый газ 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.

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

Высокая концентрация промышленного производства в отдельных районах земного шара и быстрое увеличение объемов сжигаемого топлива привели к выбросу в атмосферу значительных количеств тепла, углекислого газа, 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 Госгидромета 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.

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 вредных 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 и животных еще мало изучено, хотя многие отрицательные влияния их не вызывают сомнений. 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.

Значительно повреждают растения фториды и хлориды — они приводят к хлорозу и некрозу листьев. Отрицательное воздействие на растения оказывает фтороводород, причем оно усиливается в присутствии серной кислоты. По данным ВМО, в США ущерб, наносимый сельскохозяйственным культурам загрязняющими веществами, ежегодно составляет более 85 млн долл.

В связи с этим важной задачей 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 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 углекислого газа и вредных примесей 18 млн м³ воздуха и отфильтровывает до 70 т пыли. Одно дерево с площадью кроны 25 м² в сутки выделяет столько кислорода, сколько необходимо для дыхания одного взрослого человека, а 1 га насаждений за 1 ч — сколько за это время потребляют 200 человек.

1.4. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ. ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ С ВЫСОТОЙ

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 древнегреческого «*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 ($\text{Па} = \text{Н/м}^2$). 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 показание ртутного барометра на всех метеостанциях приводят к одинаковым условиям: к одной температуре (обычно 0°C), к уровню моря и широте 45° , где ускорение свободного падения составляет $980,6 \text{ см/с}^2$. При этих условиях давление, равное 760 мм рт. ст. , называют *нормальным атмосферным давлением*.

Давление воздуха с высотой уменьшается, так как на каждую более высоко расположенную поверхность давит меньший вес атмосферы. В нижнем слое атмосферы уменьшение давления ΔP , Н/м^2 , при увеличении высоты на Δh , м, в линейном приближении выражается уравниванием статики:

$$\Delta P = -\rho g \Delta h, \quad (1.1)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м^3 ; g — ускорение свободного падения, м/с^2 .

Для небольшой разности высот между двумя уровнями (до 1000 м) превышение одного пункта над другим вычисляют по формуле Бабинэ:

$$H = \frac{8000 \cdot 2(P_0 - P) \left(1 + \alpha \frac{t_0 + t}{2}\right)}{P_0 + P}, \quad (1.2)$$

где H — разность высот этих двух уровней или превышение одного пункта над другим, м; P_0 и P — давление воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, гПа; α — коэффициент объемного расширения воздуха, $\alpha = 0,004 \text{ } 1/^\circ\text{C}$; t_0 и t — температура воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, $^\circ\text{C}$.

Изменение давления с высотой характеризуется *барической (барометрической) ступенью* — расстоянием (h), м, по вертикали, на котором давление меняется на 1 гПа. Определяют ее из уравнения Бабинэ:

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

где t и P — соответственно температура, °C, и давление воздуха, гПа, в точке, для которой вычисляют барическую ступень h .

Атмосферное давление с помощью формулы (1.3) приводят к *уровню моря*:

$$P_m = P_{ст} + H/h, \quad (1.4)$$

где $P_{ст}$ — давление на метеостанции, гПа; H — высота станции над уровнем моря, м; h — барическая ступень, гПа на 1 м.

Приведенное давление передают в центр гидрометеорологической службы, где его значение наносят на синоптическую карту.

1.5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ*

Атмосферное давление измеряют *барометром*.

Станционный *ртутный чашечный барометр* (рис. 1.1, а) используют на постоянных наземных метеорологических станциях. В нем атмосферное давление уравновешивается весом столба ртути в вертикальной стеклянной трубке, помещенной в металлическую оправу. По высоте столба ртути и определяют давление воздуха в миллиметрах или в миллибарах. Барометр помещают в специальный шкаф, находящийся вдали от обогревательных систем, окон и дверей.

Барометр-анероид БАММ-1 (рис. 1.1, б) имеет принцип действия, основанный на деформации мембранных 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 и удобны при транспортировке. Анероиды также используют для проведения барометрического нивелирования.

* Устройство этих и других приборов, методы работы с ними подробно изложены в «Практикуме по агрометеорологии» (М. Д. Павлова) и в «Практикуме по агрометеорологическому обеспечению растениеводства» (А. П. Лосев).

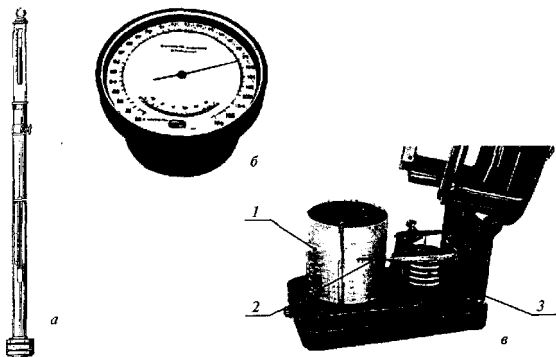


Рис. 1.1. Приборы для измерения атмосферного давления:

а — ртутный чашечный барометр; *б* — барометр-анероид БАММ-1; *в* — барограф М-22А:
1 — барабан с лентой; *2* — стрелка с пером; *3* — анероидные коробки

Барограф М-22А (рис. 1.1, *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.

1.6. 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 (рис. 1.2).

В вертикальном направлении атмосферу подразделяют на пять основных слоев: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу, различающихся по температурным и иным характеристикам.

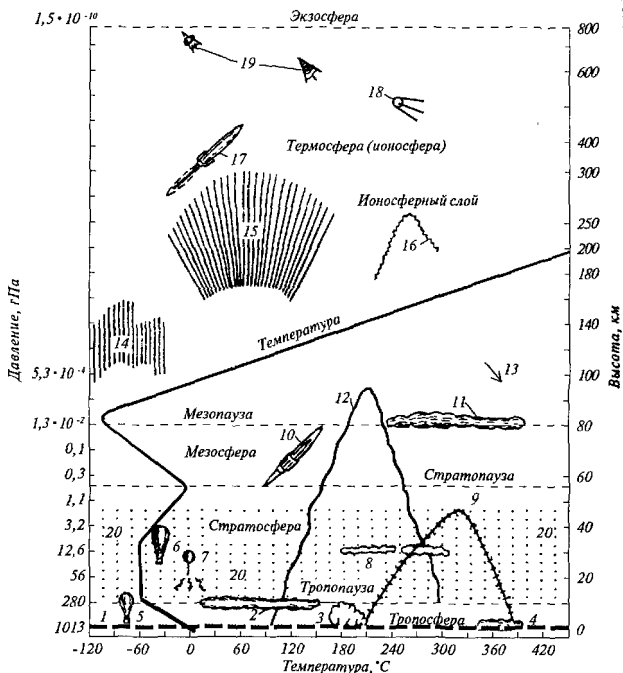


Рис. 1.2. Строение атмосферы:

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

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 ~1200 до 400 г/м³.

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 и насаждения, пастбища, обитают животные. 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 $8 \cdot 10^{-1}$ г/м³.

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 % всей массы атмосферы, а плотность его на уровне мезопаузы составляет около $2 \cdot 10^{-2}$ г/м³. На верхней границе мезосферы наблюдаются еще особого рода облака, также видимые только в ночное время, — серебристые.

В *термосфере*, которая расположена в промежутке 90...450 км, температура опять начинает повышаться. На высоте 200...250 км

в годы активного Солнца она достигает 1600°C . 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 около 500 км плотность воздуха около $2 \cdot 10^{-9} \text{ г/м}^3$).

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°C . Слой экзосферы распространяется до высоты 2000...3000 км и постепенно переходит в космос.

1.7. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

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

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 организуют высокогорные обсерватории и станции. Однако число их недостаточно и расположены они на высотах, не превышающих 4...5 км, тогда как уже с давних времен появилась необходимость исследования атмосферы до более значительных высот. Для исследования высоких слоев атмосферы 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 пользуются *шарами-пилотами*.

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.

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.



Рис. 1.3. Фотография облаков со спутника «Метеор» .

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» — непрерывно регистрируют облачность, тепловое излучение атмосферы, Земли и другие метеозлементы (рис. 1.3). Полученная информация передается на Землю, где ее обрабатывают на компьютерах и используют как для научных исследований, так и для практических целей: для составления прогнозов погоды, предупреждения об опасных явлениях, анализа распределения льдов в Мировом океане, определения границы снежного покрова и т. д.

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

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

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 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, является основным источником 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 потоки лучистой энергии) лучистую энергию 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 $\text{Вт}/\text{м}^2$: $[1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2]$. 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 $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ и т. д. ($1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2$).

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*. Прямая солнечная радиация, поступающая на верхнюю границу атмосферы, изменяется во времени в небольших пределах, поэтому ее

называют *солнечной постоянной* (S_0). При среднем расстоянии от Земли до Солнца $149,5 \cdot 10^6$ км S_0 составляет около 1400 Вт/м^2 .

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 Буге прямая солнечная радиация, поступающая на поверхность Земли при отвесном (перпендикулярном) падении лучей,

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

где p — 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 (рис. 2.1). 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_0) приведено далее.

m	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	2,0	2,9	5,6	10,4	26,0	34,4
h_0	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 изменяется 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 p на уровне моря составляет около 0,9, в действительных атмосферных условиях — 0,70...0,85, зимой он несколько больше, чем летом.

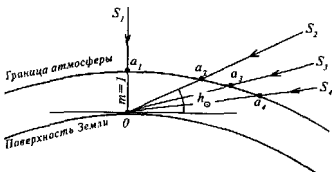


Рис. 2.1. Путь солнечного луча в атмосфере при разной высоте Солнца

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

$$S' = S \sin h. \quad (2.2)$$

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 ориентировки 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 сева в более ранние сроки. На южных склонах увеличивается вероятность созревания теплолюбивых культур в районах с ограниченными ресурсами тепла.

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
Крутизна 10°							
<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
Крутизна 20°							
<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	1,20	1,42

Средние многолетние годовые суммы прямой радиации на территории России увеличиваются от 160 МДж/м² на севере до 290 МДж/м² 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. с. 41).

Средние многолетние годовые суммы рассеянной радиации на территории нашей страны составляют 160...210 МДж/м².

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

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

Соотношение между прямой и рассеянной радиацией в составе суммарной радиации зависит от высоты Солнца, облачности и загрязненности атмосферы, высоты поверхности над уровнем моря. С увеличением высоты Солнца доля рассеянной радиации при безоблачном небе уменьшается. Чем прозрачнее атмосфера и чем 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 рисунке 2.2,а. Годовые суммы суммарной радиации на территории России, как видно из рисунка, меняются в широких пределах, значительно возрастают от высоких широт к низким: от 2500 МДж/м² на севере до 4800 МДж/м² на юге. Интересно, что в июне месячная сумма суммарной радиации на севере России составляет 590...670 МДж/м², а на юге — 750...920 МДж/м². 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 величиной 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).

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.

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	25...45	Сухая степь	20...30
Свежая зеленая трава	Около 25		

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, каплями воды и углекислым газом, содержащимися в воздухе. Излучение Земли зависит от температуры ее поверхности:

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

где δ — относительная излучательная способность земной поверхности. Для чернозема $\delta = 0,87$, для песка — 0,89, для луга — 0,94, для воды — 0,96; σ — постоянная Стефана—Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴); T — абсолютная температура поверхности, К.

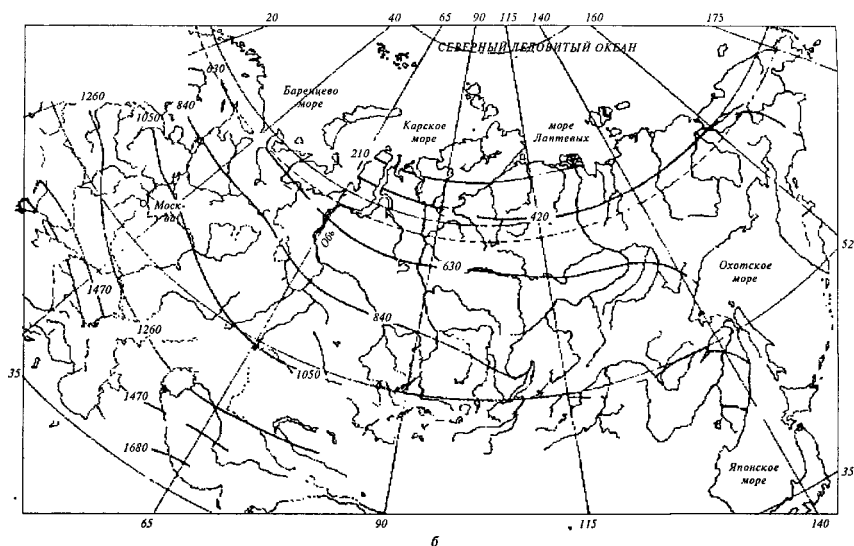
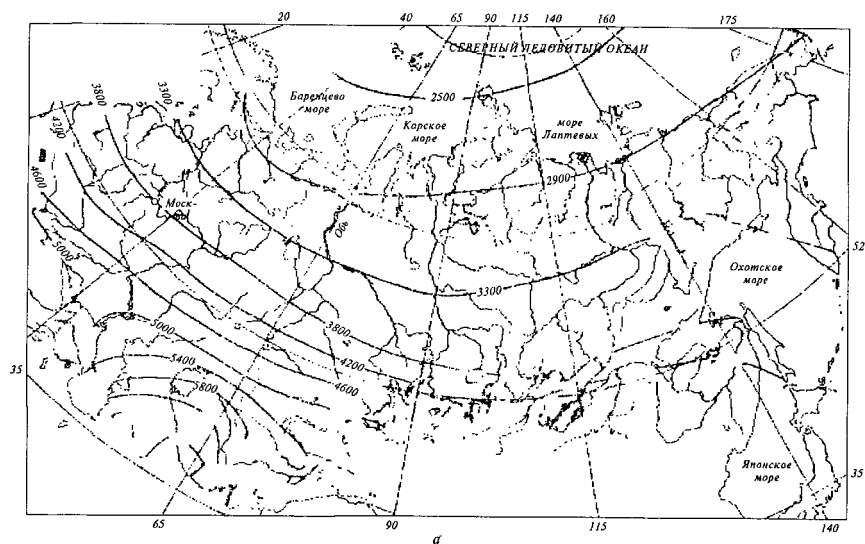


Рис. 2.2. Распределение средних многолетних годовых сумм (по Т. Г. Берлянд и Н. А. Ефимовой). Пересчет сумм из ккал в МДж выполнен авторами учебника:

а — суммарной радиации; б — радиационного баланса деятельной поверхности

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, прямо пропорционально ее температуре, содержанию углекислого газа, озона и 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 нагретой почвы и растений.

Разность между собственным излучением поверхности Земли и встречным излучением атмосферы называют *эффективным излучением*:

$$E_{эф} = E_z - E_a. \quad (2.6)$$

В ясные и малооблачные ночи эффективное излучение гораздо больше, чем в пасмурные, поэтому больше и ночное охлаждение земной поверхности. Днем оно перекрывается поглощенной суммарной радиацией, вследствие чего температура поверхности повышается. При этом растет и эффективное излучение. Земная поверхность в средних широтах теряет за счет эффективного излучения 70...140 Вт/м², что составляет примерно половину того количества тепла, которое она получает от поглощения солнечной радиации.

2.3. РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Разность между приходящими 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:

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

Уравнение можно записать и в другом виде:

$$B = Q - R_k - E_{\text{эф.}} \quad (2.8)$$

Для ночного времени уравнение радиационного баланса имеет следующий вид:

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

Если приход радиации больше, чем расход, то радиационный баланс положительный и деятельная поверхность* 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.

Годовой радиационный баланс в районах, где устанавливается устойчивый снежный покров, в холодное время года имеет отрицательные значения, в теплое — положительные.

Изменчивость средних многолетних годовых сумм радиационного баланса на территории России, как и суммарной радиации, носит в целом широтный характер (рис. 2.2, б). В высоких широтах радиационный баланс суши в среднем близок к нулю, а на юге достигает 1500...1700 МДж/(м² · год).

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 является *мульчирование* (покрытие почвы тонким слоем торфяной крошки, перепревшим навозом, древесными опилками и др.), укрытие почвы полиэтиленовой пленкой, орошение. Все это изменяет отражательную и поглощательную способность деятельной поверхности.

* Деятельная поверхность — поверхность почвы, воды или растительности, которая непосредственно поглощает солнечную и атмосферную радиацию и отдает излучение в атмосферу, чем регулирует термический режим прилегающих слоев воздуха и нижележащих слоев почвы, воды, растительности.

2.4. ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ И РАСТЕНИЯ

Спектральный состав лучистой энергии, ее биологическое значение. Лучистая радиация состоит из электромагнитных волн различной длины (λ). В актинометрии эту длину 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_g) и атмосферы (E_a) — к длинноволновой.

Спектр солнечной радиации можно разделить на три качественно различные части: ультрафиолетовую ($\lambda < 0,40 \text{ мкм}$), видимую ($0,40 \text{ мкм} < \lambda \leq 0,75 \text{ мкм}$) и ближнюю инфракрасную ($0,76 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 4 \text{ мкм}$). До ультрафиолетовой части спектра солнечной радиации лежит рентгеновское излучение, а за инфракрасной — радиоизлучение Солнца. На верхней границе атмосферы на ультрафиолетовую часть спектра приходится около 7 % энергии солнечного излучения, 46 — на видимую и 47 % — 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.

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

Дальняя инфракрасная радиация производит лишь тепловое действие на растения. Ее влияние на рост и развитие растений незначительно.

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 ($\lambda = 0,35 \dots 0,75 \text{ мкм}$), которая поглощается пигментами листа. Ее энергия имеет важное регуляторно-энергетическое значение в жизни растений. 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) и оранжево-красные ($\lambda = 0,65...0,68$ мкм) лучи, 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; λ — 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. Так как первоначальная энергия (до рассеяния) фиолетовых лучей меньше, чем синих и голубых, то максимум энергии в рассеянном свете (рассеянной 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.

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 необхо-

димы 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. 2.3).

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

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

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;

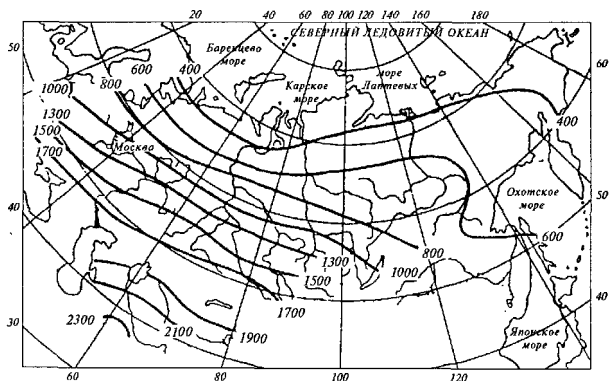


Рис. 2.3. Распределение средних многолетних сумм ФАР за период активной вегетации, МДж/м²

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

где q — калорийность единицы сухого органического вещества, $q = 1,8 \cdot 10^3 \dots 20 \times 10^3$ МДж/т; M — урожайность сухой биомассы в целом или в ее хозяйственно ценной части.

Посевы по их средним значениям КПИ_{ФАР} разделяют на группы (по А. А. Ничипоровичу): обычно наблюдаемые — 0,5...1,5 %; хорошие — 1,5...3,0; рекордные — 3,5...5,0; теоретически возможные — 6,0...8,0 %.

Освещенность и растения. Живые организмы чутко реагируют на изменение интенсивности освещенности, создаваемой солнечным излучением. Вследствие различной реакции на интенсивность освещенности все формы растительности делят на светлюбивые 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 кукурузы из-за слабой освещенности солнечной радиацией ослабляется образование початков на растениях.

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.

Освещенность надземной части растений существенно влияет на поглощение корнями питательных веществ. При слабой освещенности замедляется перевод ассимилятов в корни, и в результате тормозятся биосинтетические процессы, происходящие в клетках растений.

Освещенность влияет и 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).

2.3. Влияние интенсивности света на пораженность хлебов ржавчиной (по Гасснеру и Анпелю), число спор на 1 см²

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

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

Освещенность измеряют в люксах (лк), килолюксах (клк); 1 клк = 10³ лк.

Освещенность может меняться в течение ясного 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.

Получить информацию о световом режиме того или иного географического пункта без постановки специальных наблюдений за освещенностью можно, пересчитав данные актинометрических измерений интенсивности солнечной радиации в киловаттах на 1 м² с использованием коэффициента — *светового эквивалента радиации*. Значения эквивалента разделены для прямой и суммарной радиации при различных высотах Солнца приведены в таблице 2.4.

2.4. Световой эквивалент прямой и суммарной радиации, клк · м²/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 клк · м²/кВт при облачности 0...6 баллов и 103 клк · м²/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°: 93 клк · м²/кВт — для прямой, 100 — для суммарной и 107 клк · м²/кВт — для рассеянной радиации.

От количества поступающей солнечной радиации зависит интенсивность многих процессов, протекающих в растениях, в частности фотосинтеза.

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 CO_2 уравновешивается его выделением). Для светолюбивых растений, к которым относятся сельскохозяйственные культуры, значение компенсационной точки находится в пределах интенсивности ФАР 20...35 Вт/м² (2000...3500 лк). Ниже указанного значения расход органического вещества на дыхание больше, чем его образование в процессе фотосинтеза.

Световые кривые различных растений показаны на рисунке 2.4. 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/м² для теневыносливых и до 210...280 Вт/м² для светолюбивых растений продуктивность фотосинтеза растет. При дальнейшем увеличении ФАР ($> 280 \text{ Вт/м}^2$) и среднем содержании CO_2 в воздухе (0,03 %) фотосинтез 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, к снижению продуктивности посевов.

Продолжительность освещения и растения. Ритм солнечной радиации (чередование светлой и темной части суток) является наиболее

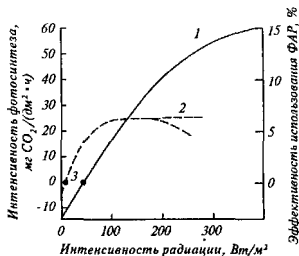


Рис. 2.4. Световые кривые фотосинтеза светолюбивых (1) и теневыносливых (2) растений, 3 — компенсационные точки (по А. М. Шульгину)

устойчивым и повторяющимся из года в год фактором внешней среды. 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, бобы, 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. На экваторе продолжительность дня в течение всего года равна 12 ч $\pm$ 30 мин. При продвижении от экватора к полюсам после весеннего равноденствия (21.03) длина дня увеличивается к северу и уменьшается к югу. После осеннего равноденствия (23.09) распределение продолжительности дня обратное. В Северном полушарии на 22.06 приходится самый длинный день, продол-

жительность которого севернее Полярного круга 24 ч. Самый короткий день в Северном полушарии 22.12, а за Полярным кругом в зимние месяцы Солнце вообще не поднимается над горизонтом. В средних же широтах, например в Москве, продолжительность дня в течение года меняется от 7 до 17,5 ч.

При определении астрономической длины дня не учитывается вечерний переходный период от захода Солнца до наступления ночной темноты (вечерние сумерки) и утренний переходный период от окончания темноты до восхода Солнца (утренние сумерки — рассвет). Во время сумерек освещенность меняется от 650 до 1,0...0,1 лк в зависимости от облачности.

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

2.5. Физиологическая длина дня на широтах от 0 до 70° на 15-е число каждого месяца (по И. А. Шульгину, 1973), 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

При увеличении продолжительности дня в северных широтах в вегетационный период удлиняется период фотосинтеза растений. В результате 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.

Продолжительность освещения влияет и на развитие болезней растений. Установлено, что большинство патогенов лучше

развиваются в условиях нормального суточного хода освещенности, чем при непрерывном действии света. При увеличении продолжительности освещения ускоряется развитие растений и возрастает их устойчивость к болезням. Например, оптимальные условия для развития желтой ржавчины создаются при 12-часовом освещении, мучнистой росы яровой пшеницы — при 8-часовом световом дне, а клевел заражается фузариозом лишь при минимуме продолжительности дневного освещения, причем наиболее сильно болезнь развивается в условиях рассеянного освещения.

2.5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

Для измерения интенсивности потоков лучистой энергии на сети метеостанций и при полевых наблюдениях наиболее широко используют термоэлектрические приборы.

Прямую солнечную радиацию (S) измеряют *актинометром* М-3 (рис. 2.5, а), призменную поверхность устанавливают перпендикулярно солнечным лучам.

Интенсивность суммарной (Q), рассеянной (D) и отраженной (R_k) радиации измеряют *пиранометром* М-80М (рис. 2.5, б). При расположении приемной части вверх без затенения измеряют Q , при затенении — D , а направив ее вниз — R_k .

Радиационный баланс действительной поверхности измеряют *балсансометром* М-10М (рис. 2.5, 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.

Естественную освещенность, а также создаваемую лампами накаливания и люминесцентными лампами измеряют *люксметром* Ю-16 (рис. 2.6, а), действие которого основано на фотоэлектрическом эффекте.

Продолжительность солнечного сияния, т.е. промежутков времени, в течение которых солнечный диск не закрыт облаками, регистрируют *гелиографом* ГУ-1 (рис. 2.6, б). Стекланный шар собирает падающие на него солнечные лучи в фокус. Прожог или следы прожога на специальной бумажной ленте показывают число часов солнечного сияния.

2.6. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ПОСЕВОВ И ТЕПЛИЦ

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

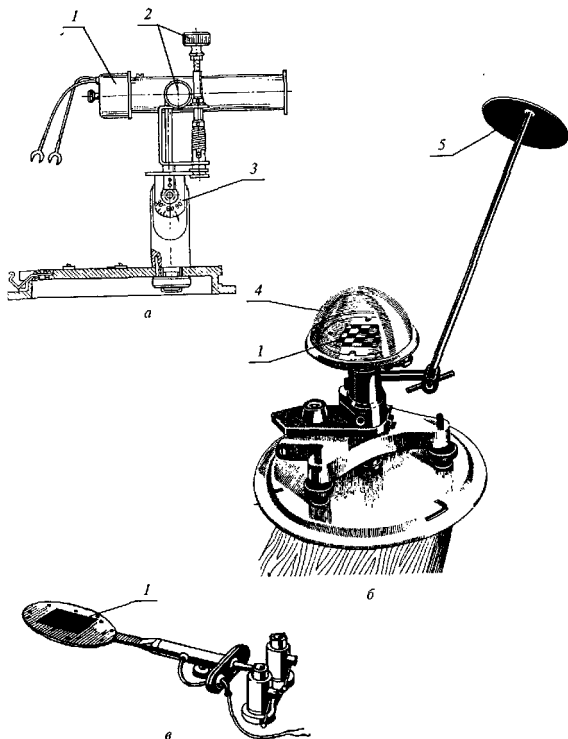


Рис. 2.5. Приборы для измерения радиации:

a — 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

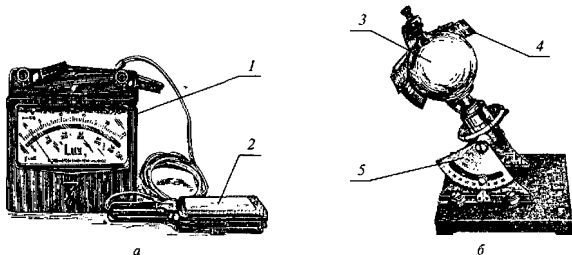


Рис. 2.6. Приборы для измерения освещенности (а) и продолжительности солнечного сияния (б):

1 — измеритель; 2 — селеновый фотоэлемент; 3 — стеклянный шар; 4 — лента; 5 — шкала широт

Падающая на растительный покров суммарная радиация вступает во взаимодействие с фитоэлементами (отражение, рассеивание, поглощение). В результате этого изменяются плотность потока радиации, пространственная структура и ее спектральный состав. Эти изменения зависят от высоты Солнца и геометрической структуры агрофитоценоза, оптических свойств фитоэлементов 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 этим меняется и спектральный состав радиации. В нижнем ярусе густых посевов преобладают зеленые и дальние инфракрасные лучи, которые, как отмечалось выше (см. разд. 2.4), 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 (1987), в травостое лю-

церны 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).

Основной показатель, определяющий поглощение и пропускание ФАР в посевах и насаждениях, — отношение площади листовой поверхности к площади поля L . Поглощение ФАР посевом возрастает с увеличением L . Наибольшее поглощение наступает при $L = 4$, что соответствует 40 000 м² листовой поверхности на 1 га. При $L > 4$ поглощение практически уже не увеличивается (рис. 2.8).

Радиационный режим в теплицах и парниках на солнечном обогреве существенно отличается от режима в посевах открытого грунта. Стеклопанель крыши частично отражает и задерживает солнечную радиацию (в сумме около 30 %). Часть радиации, проникшей в теплицу, затрачивается на нагревание поверхности почвы и воздуха в теплице (около 30 %) и лишь около 40 % идет на транспирацию, фотосинтетическую деятельность и другие процессы. При значительной высоте и густоте растений освещенность среди них по сравнению с открытым грунтом резко снижается от верхнего яруса листьев к нижним. В пасмурную погоду естественное освещение в теплице может быть недостаточным, поэтому используют люминесцентные лампы, свет ко-

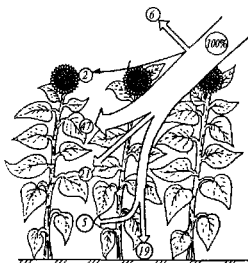


Рис. 2.7. Распределение поглощенной ФАР по ярусам листьев в посевах подсолнечника (по В. В. Поновому)

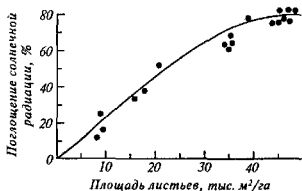


Рис. 2.8. Поглощение солнечной радиации посевом в зависимости от площади листьев

торых по спектру близок к дневному. В нем мало инфракрасных лучей, что делает свет «холодным» и не вызывает перегрева растений.

2.7. ПУТИ БОЛЕЕ ПОЛНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Важное производственное значение имеет регулирование количества солнечной радиации, получаемой растением. Этого достигают, создавая определенную густоту посева и посадки, устраивая кулисы из высокостебельных растений, выращивая культуры под покровом других растений и другими приемами.

Регулировать количество солнечной радиации, получаемой растением в полевых условиях, можно также методом выбора направления рядов, гребней. Еще в 1882 г. И. А. Стебут заметил, что освещенность растений и использование ими солнечной энергии меняются в зависимости от направления рядов. Ряды растений, направленные с севера на юг, полнее используют рассеянную радиацию (богатую фотосинтетически активными лучами) утренних и вечерних часов.

Для получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур необходимо выводить такие сорта, которые в ограниченных метеорологических условиях среды (например, недостаток воды) имели бы активный фотосинтетический аппарат, позволяющий им в неблагоприятных условиях формировать высокопродуктивные посевы.

Учитывая, что в посевах и насаждениях в зависимости от времени дня, фазы развития, высоты и густоты растений, облачности и других факторов меняются условия освещенности, необходимо создавать такие сорта, которые позволили бы листовому аппарату работать с высоким КПИ_{ФАР} при различной освещенности.

Ученые стремятся создавать такие конструкции посевов, которые бы обеспечивали максимальную освещенность листовой поверхности и, следовательно, максимальную их продуктивность.

В плодоводстве садоводы формируют крону дерева так, чтобы создать в ней оптимальный радиационный режим.

Деревья с малообъемными кронами разных форм (веретеновидное, пальметта и др.), как показывает отечественный и зарубежный опыт, высокоурожайны и высоко rentабельны. При этом повышаются и товарные качества плодов.

Наиболее благоприятные условия для поглощения солнечной радиации создаются в садах со слаборослыми деревьями, так как конструкции насаждений, создаваемые из деревьев небольших размеров с малой толщиной крон, лучше пропускают ФАР, что

обеспечивает высокую продуктивность растений и является предпосылкой высоких урожаев плодов.

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 сокращают, 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.

Глава 3

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ



3.1. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Лучистая энергия в деятельном слое преобразуется в тепловую. 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. Этот приход и расход энергии на деятельной поверхности выражаются уравнением теплового баланса:

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

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 (потоки 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 нерадиационной передачей тепла.

Соотношение между нерадиационными 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 рисунке 3.1. Видно, что изменения тепловых потоков в течение суток следуют за ходом радиационного баланса, который является главным членом уравнения теплового баланса. Лишь максимум потока тепла в деятельном слое (A) наблюдается в утренние часы. Подобные же закономерности отмечаются и в годовом ходе составляющих теплового баланса.

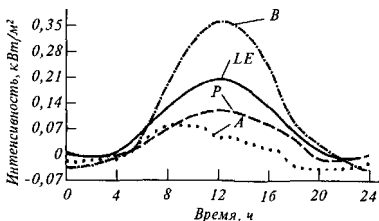


Рис. 3.1 Суточный ход составляющих теплового баланса за июль в районе Санкт-Петербурга

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 передача тепла направлена вниз (+А), то значительная часть тепла, приходящая к поверхности сверху, остается в деятельном слое. Температура этого слоя, а следовательно, и деятельной поверхности при этом возрастают. Напротив, при передаче тепла через земную поверхность снизу вверх (-А) 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 по одному максимуму и минимуму. 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*, 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, 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, а западные — несколько

* Здесь и далее указано среднее солнечное время.

ко сильнее восточных, 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 °C, а в полярных районах материков превышает 70 °C (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 °C. Различают удельную и объемную теплоемкость.

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

Объемной теплоемкостью ($C_{об}$) называют количество тепла, необходимое для нагревания 1 м^3 почвы на 1°С . В СИ удельная теплоемкость выражается в $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, объемная — в $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$.

Между объемной и удельной теплоемкостями существует соотношение

$$C_{об} = C_{уд} \rho, \quad (3.2)$$

где ρ — плотность почвы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для различных минеральных и органических компонентов почвы объемная теплоемкость почти одинакова и составляет $2,0 \cdot 10^3 \dots 2,7 \cdot 10^3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ (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 $4,2 \cdot 10^3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, а теплоемкость воздуха — $1,2 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$. 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 (λ), который в СИ численно равен количеству тепла, Дж , проходящего за 1 с через основание столба почвы сечением 1 м^2 и высотой 1 м , если разность температур на верхнем и нижнем его основаниях равна 1°С . Единицей измерения λ в СИ является $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

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

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

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

Коэффициент теплопроводности с увеличением влажности почвы от 2 до 8% возрастает очень быстро, а затем 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 (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 [$\lambda \sim 2,11 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$] больше теплопроводности воды почти в 4 раза. Некоторое влияние на теп-

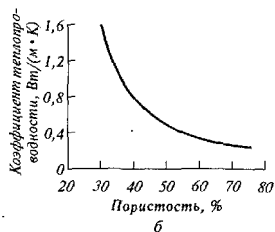
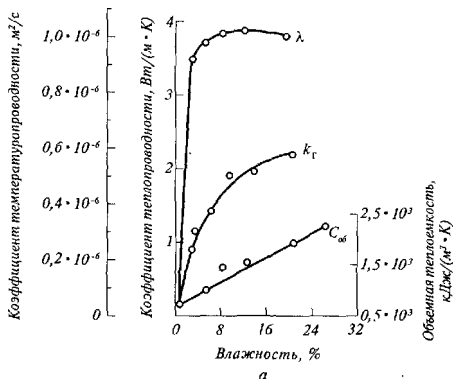


Рис. 3.2. Зависимость теплофизических характеристик почвы от ее влажности (а) и пористости (б) (по А. Ф. Чудновскому и В. З. Богомолову)

лопроводность 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* ($\text{м}^2/\text{с}$), который характеризует скорость распространения тепла в почве и определяется отношением коэффициента теплопроводности λ к ее объемной теплоемкости $C_{\text{об}}$:

$$\kappa_T = \lambda / C_{\text{об}}. \quad (3.3)$$

Коэффициент температуропроводности почвы зависит главным образом от соотношения содержания в ней воздуха и воды (см. табл. 3.1). Поскольку температуропроводность воздуха ($\kappa_T = 21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) значительно больше, чем воды ($\kappa_T = 0,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), 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.

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.

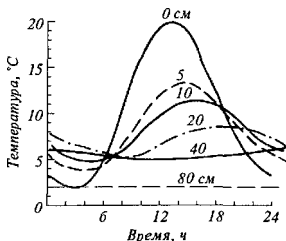


Рис. 3.3. Суточный ход температуры в почве за май (г. Павловск)

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. С этих глубин начинается *слой постоянной годовой температуры*.

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

Так, если на поверхности суточная амплитуда равна 30°C , а на глубине 20 см — 5°C , то на глубине 40 см она будет уже менее 1°C (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 го-

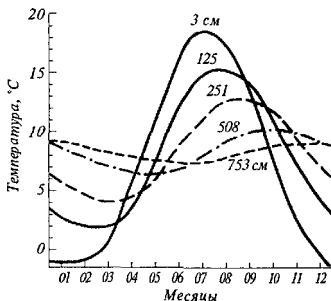


Рис. 3.4. Годовой ход температуры на разных глубинах в почве (г. Калининград)

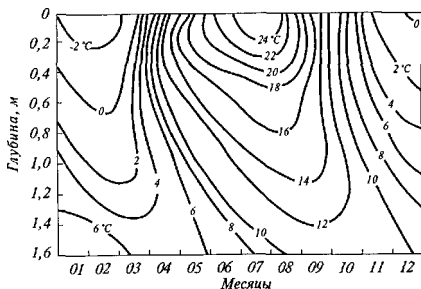


Рис. 3.5. Термозоплеты годового хода температуры почвы в районе (г. Харьков)

ния 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 (рис. 3.5). На график наносят среднюю месячную температуру почвы на различной глубине. Затем точки с одинаковой температурой соединяют плавными линиями — *термозоплетами*. 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 глуби-

ной 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.

Термоизоплеты годового хода используют также в коммунальном хозяйстве, в промышленном и дорожном строительстве, 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 (см. табл. 3.2) 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).

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

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

Западные склоны получают от Солнца такое же количество тепла, как и восточные. Однако при прочих равных условиях западные склоны несколько теплее, так как на восточных склонах часть тепла затрачивается утром на испарение росы с поверхности почвы и растений, тогда как на западных склонах, освещаемых Солнцем после полудня, росы уже нет.

Наличие растительного покрова на поверхности почвы 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 почва под растительным покровом летом холоднее, чем оголенная. Кроме того, при наличии растительного покрова отмечается увеличение затрат поступающего тепла на испарение воды, а следовательно, уменьшение влажности почвы и, как следствие этого, уменьшение теплоемкости и теплопроводности почвы.

Например, под паром пахотный слой почвы летом на 5...6 °С теплее, чем такой же слой под полевыми культурами. Особенно влияют на температуру почвы лес и сильнорослые плодовые насаждения. Средняя годовая температура почвы в лесу на глубине 1 м на 1...2 °С ниже, чем в поле. Летом почва в лесу на глубине 20 см на 5...6 °С холоднее, чем на участке без леса.

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, 1972):

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, 1972).

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 МЕРЗЛОТА

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

Глубину промерзания почвы обуславливают: суровость и продолжительность зимы; высота снежного покрова (например, в Восточном Казахстане, 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 лесу; влажность почвы: сухие почвы промерзают более глубоко, чем увлажненные, так как последние имеют большую теплоемкость, кроме того, при замерзании воды выделяется теплота.

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. 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.

Территория, занятая вечной мерзлотой, охватывает значительную часть Канады, почти всю Аляску и Гренландию, а в России она занимает более половины территории, распространяясь от Кольского полуострова на западе 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 °С.

Летом верхние слои почвы в северной части района вечной мерзлоты оттаивают на глубину нескольких десятков сантиметров, а в южной части — на 10...15 м и более. На оттаявших почвах в районе вечной мерзлоты даже в Якутии можно возделывать овощные и некоторые зерновые культуры. Корневая система растений 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 прекрасно растут и деревья. 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 представля-

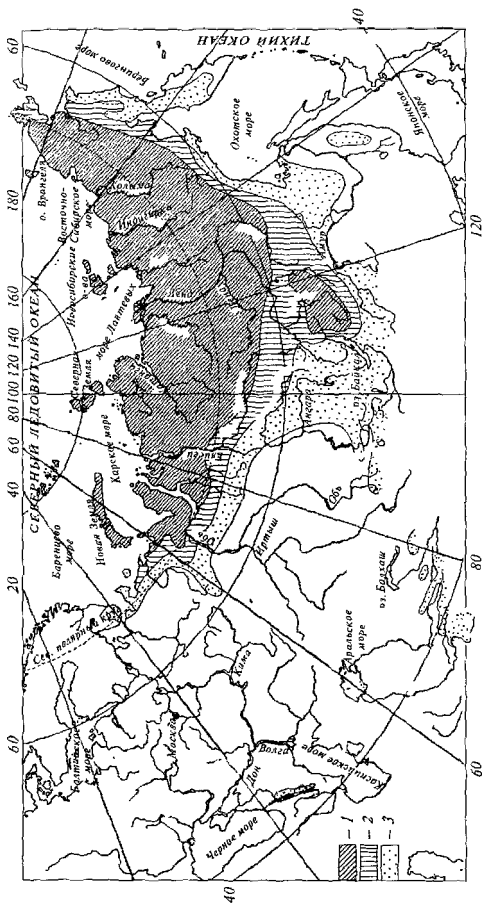


Рис. 3.6. Распространение вечной (многолетней) мерзлоты на территории России (по Б. И. Алисову):

1 — зона преимущественно сплошного распространения вечной мерзлоты; 2 — зона прерывистого распространения вечной мерзлоты; 3 — зона островного распространения вечной мерзлоты

ет 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 и В. Б. Шостаковича, вечная мерзлота появилась позднее, что является результатом современных суровых климатических условий, главным образом суровых мало-снежных зим. В такой мерзлоте трупов ископаемых млекопитающих нет.

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 И 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, *а*). В результате этого в месте сужения происходит разрыв ртути, и таким образом фиксируется максимальное значение температуры за данный промежуток времени.

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 (рис. 3.7, *б*).

При понижении температуры поверхностная пленка мениска 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 (рис. 3.7, *в*).

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

Транзисторный электротермометр ТЭТ-2 применяют для измерения температуры пахотного слоя в теплый период (рис. 3.7, I, д). Им можно измерять и температуру в буртах корнеплодов, картофеля, в зерновой массе в засеках.

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

Вытяжные термометры ТПВ-50, ртутные, предназначены для измерений температуры почвы на глубинах 20...320 см в течение года (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 (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.

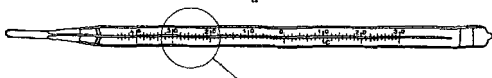
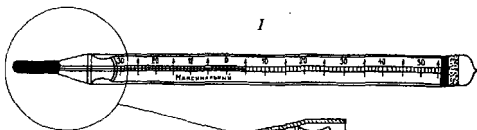
В последнее время получили развитие методы бесконтактно-го определения температуры поверхности почвы со спутников, самолетов и вертолетов, позволяющие получать осредненные значения температуры для значительных участков земной поверхности.

Мерзлотер АМ-21 (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°C) и кипения воды (100°C) (рис. 3.7, III).

В США чаще пользуются шкалой Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$). На этой шкале точке таяния льда соответствует температура 32°F , а точке кипения воды — температура 212°F . Интервал между этими точками разделен на 180 делений, т. е. градусов. Поэтому каждый градус шкалы Фаренгейта составляет лишь $5/9$ градуса шкалы Цельсия.

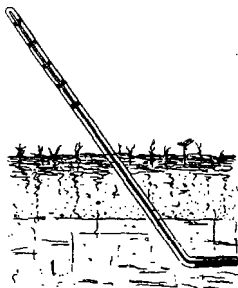
I



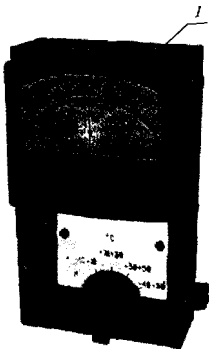
б



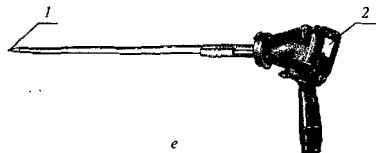
2



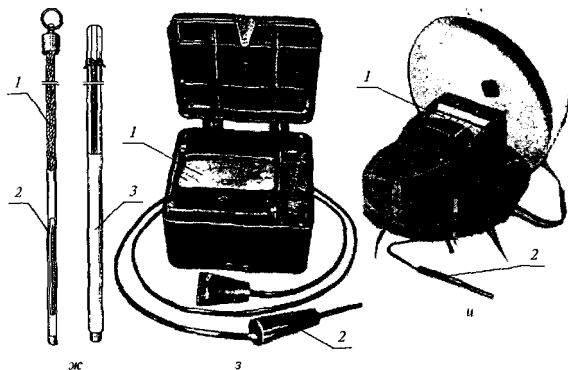
в



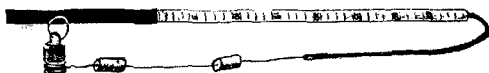
д



е



II



III

Рис. 3.7. Приборы для измерения температуры и глубины промерзания:

1 — термометры: а — максимальный ТМ-1; б — минимальный ТМ-2; в — колечный ТМ-5; г — шуп АМ-6; д — ТЭТ-2: 1 — пульт; 2 — датчик (термотранзистор); е — трость агронома ПИТТ-1: 1 — датчик; 2 — потенциометр; ж — вытяжной ТПВ-50: 1 — деревянный шест; 2 — термометр; 3 — эбонитовая трубка; з — сопротивления АМ-2М-1: 1 — пульт; 2 — датчик; и — максимально-минимальный АМ-17: 1 — пульт; 2 — датчик (термобаллон); II — мерзлотмер АМ-21; III — сопоставление температурных шкал Фаренгейта, Цельсия (стоградусной) и Кельвина

[°] F	[°] C	K	
212	100	373	Точка кипения воды
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	Точка таяния льда
14	-10	263	
-4	-20	253	
-22	-30	243	
-40	-40	233	
-58	-50	223	
-76	-60	213	

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

В термодинамической температурной шкале температура измеряется в градусах Кельвина (К). У этой шкалы за нуль принята такая температура, при которой прекращается молекулярное движение (-273°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 рисунке 3.7, III.

3.8. ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ ДЛЯ РАСТЕНИЙ

Одним из важнейших факторов жизни растения является температура почвы. 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 $3...5^{\circ}\text{C}$, а такие, как рис, хлопчатник и др., требуют значительно более высоких температур — $13...15^{\circ}\text{C}$ (табл. 3.3).

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

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

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°C дают всходы через 21 день, а при температуре 18°C — через 8...9 дней.

Температурный режим почвы непосредственно влияет на

скорость роста корневой системы (табл. 3.4). При пониженных и повышенных температурах показатели роста ухудшаются.

3.4. Скорость роста корней пшеницы (по Бурстрему)

Показатель роста	Температура почвы, °C				
	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 °C) 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 °C) 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 °C) 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 °C 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 сельскохозяйственных растений. У ряда теплолюбивых культур (кукуруза, хлопчатник) болезни проростков и повреждение семян плесенью проявляются при низких температурах (в холодные весны), когда термические условия неблагоприятны для растений.

Вредители растений, личинки которых находятся в почве, в зависимости от температуры могут принести больший или меньший вред. Например, проволочники (личинки жука щелкуна) 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.

3.9. МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ

В целях оптимизации температурного режима в сельскохозяйственном производстве проводят ряд мероприятий. В северных районах страны они направлены на повышение температурного режима 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*, *агромелиоративные* и *агрометеорологические*.

К агротехническим, изменяющим температурный режим почвы, относятся следующие приемы обработки почвы: глубокое рыхление, прикатывание, гребневание 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 др., 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 числу агромелиоративных приемов, влияющих на тепловой режим почвы, относятся орошение и осушение почвы, вслед-

ствие чего меняется расход тепла на испарение и почва соответственно охлаждается или нагревается.

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.

На осушенных заболоченных участках температура верхних слоев почвы в летние месяцы повышена.

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 радиационные заморозки или уменьшают их интенсивность.

В районах вечной мерзлоты для повышения температуры верхнего слоя почвы разработана специальная технология: снятие дернины и торфяного покрова, которые являются теплоизолирующими прослойками. В результате температура почвы в среднем за теплый период увеличивается на 0,5...1,0 °С.

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

Глава 4

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОЗДУХА



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). Основным источником 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 на-

правлен 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. При конденсации выделяется тепло, нагревающее воздух, особенно более высокие 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 наблюдают перед восходом Солнца. Затем она непрерывно повышается, достигая наибольших значений 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°C , в умеренных областях — $8...9$, у Полярного круга — $3...4$, в Заполярье — $1...2^{\circ}\text{C}$ (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 $2...3^{\circ}\text{C}$.

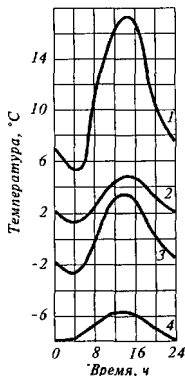


Рис. 4.1. Суточный ход температуры воздуха (в среднем за год) на разных широтах:

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.)

Оказывает большое влияние на суточный ход температуры воздуха *рельеф*: на выпуклых формах рельефа (на вершинах и на 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 доходить до 10 °С 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 при близости водных бассейнов, что видно на рисунке 4.1, где представлен суточный ход температуры в среднем за год в районе Санкт-Петербурга и Екатеринбурга.

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

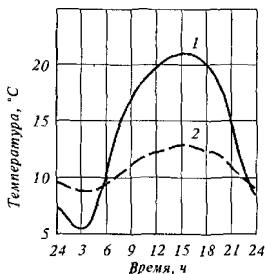


Рис. 4.2. Суточный ход температуры воздуха в ясные и пасмурные дни в июне в Павловске (под Санкт-Петербургом):

1 — ясные дни; 2 — пасмурные дни

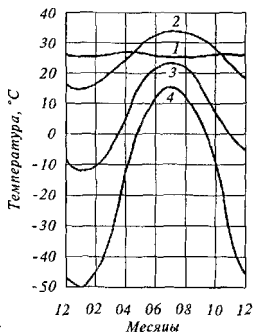


Рис. 4.3. Типы годового хода температуры воздуха:

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.)

бенно заметно уменьшает суточные амплитуды лес. 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.

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 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 (см. рис. 4.3). 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 температуры в Северном полушарии наблюдается в июле. Амплитуда годового хода температуры на суше (Гренлан-

дия, Антарктида) составляет 30...40 °C, на побережьях — 20 °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

В тропосфере температура воздуха с высотой понижается, как отмечалось, в среднем на 0,6 °C на каждые 100 м высоты. Однако в приземном слое распределение температуры может быть различным: она может и уменьшаться, и увеличиваться, и оставаться постоянной. Представление о распределении температуры с высотой дает *вертикальный градиент температуры* (ВГТ):

$$\text{ВГТ} = (t_n - t_v) / (Z_v - Z_n), \quad (4.1)$$

где $t_n - t_v$ — разность температур на нижнем и верхнем уровнях, °C; $Z_v - Z_n$ — разность высот, м. Обычно ВГТ рассчитывают на 100 м высоты.

В приземном слое атмосферы ВГТ может в 1000 раз превышать средний для тропосферы.

Значение ВГТ в приземном слое зависит от *погодных условий* (в ясную погоду он больше, чем в пасмурную), *времени года* (летом больше, чем зимой) и *времени суток* (днем больше, чем ночью). *Ветер* уменьшает ВГТ, поскольку при перемешивании воздуха его температура на разных высотах выравнивается. Над *влажной почвой* резко снижается ВГТ в приземном слое, а над *оголенной почвой* (паровое поле) ВГТ больше, чем над густым посевом или лугом. Это обусловлено различиями в температурном режиме этих поверхностей (см. гл. 3).

В результате определенного сочетания этих факторов ВГТ вблизи поверхности в пересчете на 100 м высоты может составлять более 100 °C/100 м. В таких случаях и возникает тепловая конвекция.

Изменение температуры воздуха с высотой определяет знак ВГТ: если ВГТ > 0, то температура уменьшается с удалением от деятельной поверхности, что обычно бывает днем и летом (рис. 4.4); если ВГТ = 0, то температура с высотой не меняется; если ВГТ < 0, то температура увеличивается с высотой и такое распределение температуры называют *инверсией*.

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

1. Радиационные инверсии возникают при радиационном выхолаживании земной поверхности. Такие инверсии в теплый

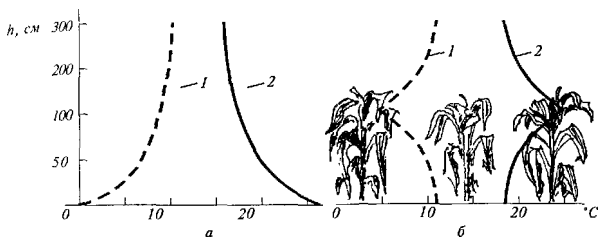


Рис. 4.4. Схема распределения температуры воздуха в приземном слое над почвой оголенной (а) и покрытой растительностью (б):

1 — ночью; 2 — днем

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 0 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 леса летом инверсии наблюдаются и днем.

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 многих культурных растений.

Зимние инверсии возникают в ясную тихую погоду в условиях короткого дня, когда охлаждение деятельной поверхности непрерывно 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 в таких местах могут длиться несколько дней.

ционные инверсии, связанные с особенностями рельефа местности, принято называть *орографическими*.

2. Адвективные инверсии образуются при адвекции (перемещении) 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°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 будке, называемой *психометрической будкой* (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 (см. рис. 5.4) так, чтобы резервуары располагались на высоте 2 м от деятельной поверхности.

Срочную температуру воздуха измеряют ртутным *психометрическим* термометром ТМ-4, который устанавливают вертикально. При температуре ниже -35°C используют низкоградусный спиртовой термометр ТМ-9.

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

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.

В посевах и насаждениях температуру воздуха измеряют, не нарушая растительный покров. Для этого используют дистанционные электрические термометры

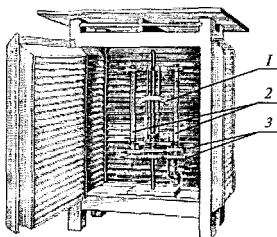
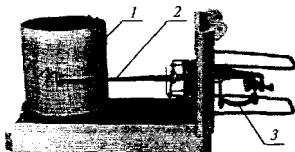


Рис. 4.5. Внутренний вид психометрической будки:

1 — гигрометр; 2 — сухой и смоченный термометры; 3 — максимальный и минимальный термометры

Рис. 4.6. Термограф М-16А:

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



сопротивления с малогабаритной приемной частью. Температуру среди растений можно измерить также аспирационным психрометром (см. рис. 5.5).

4.5. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ДАННОЙ МЕСТНОСТИ И ПОТРЕБНОСТИ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛЕ

При оценке температурного режима большой территории или отдельного пункта применяют характеристики температуры за год или за 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 метеорологических станциях Российской Федерации температуру воздуха измеряют восемь раз в сутки. Суммируя результаты этих измерений и деля сумму на 8, получают среднюю суточную температуру воздуха.

Средняя месячная температура – среднее арифметическое из средних суточных температур за все сутки месяца.

Средняя годовая температура – это 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 ($9...11^{\circ}\text{C}$). Но в Ирландии средняя температура января составляет $5...8^{\circ}\text{C}$, и всю зиму здесь зеленеют луга, а в степях Калмыкии средняя температура января $-5...-8^{\circ}\text{C}$. Летом же в Ирландии прохладно: $14...16^{\circ}\text{C}$, а средняя температура июля в Калмыкии – $23...26^{\circ}\text{C}$.

Поэтому для более полной характеристики годового хода температуры в данном месте используют данные о средней температуре самого холодного (январь) и самого теплого (июль) 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*. Например, зная минимальную температуру в зимние месяцы, можно судить об условиях перезимовки озимых культур и плодово-ягодных насаждений. Данные о максимальной температуре показывают зимой частоту оттепелей и их интенсивность, а летом — число жарких дней, когда возможно 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.

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 °C, а также ниже —5 и —10 °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.

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 (1964), для оптимальных условий роста тропических растений разница между

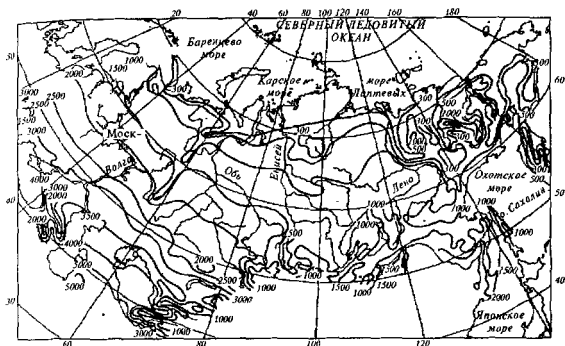


Рис. 4.7. Распределение сумм среднесуточных температур воздуха выше 10°C

дневными и ночными температурами должна составлять $3...5^{\circ}\text{C}$, для растений умеренного пояса — $5...7$, а для растений пустынь — 8°C и более. Изучение дневных и ночных температур приобретает особый смысл для повышения продуктивности сельскохозяйственных растений, которая определяется соотношением двух процессов — ассимиляции и дыхания, происходящих в качественно разные для растений светлые и темные часы суток.

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.

Суммы среднесуточных температур воздуха, близкие для пары метеостанций, размещенных примерно на одной широте, но значительно различающиеся по долготе, т. е. находящиеся в различных условиях континентальности климата, приведены в таблице 4.1.

В более континентальных восточных районах суммы дневных температур на $200...500^{\circ}\text{C}$ больше, а суммы ночных температур на $300...1000^{\circ}\text{C}$ меньше, чем в западных и особенно морских районах, что объясняет давно известный факт — ускорение развития сельскохозяйственных культур в условиях резко континентального климата.

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 °C (по З. А. Мищенко, 1984), °C

Станция	Высота, м	Долгота, град	$\Sigma \bar{t}_c$	$\Sigma \bar{t}_d$	$\Sigma \bar{t}_n$	$\Sigma \bar{t}_c - \Sigma \bar{t}_n$
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

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

4.2. Пример расчета среднесуточных активных и эффективных температур воздуха, °C

Температура	Число месяца									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
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
» 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
» 5	5,8	4,6	0,0	3,7	7,2	9,6	13,1	12,0	11,3	14,3

Растения развиваются только в том случае, если среднесуточная температура превышает их биологический минимум, который составляет, например, для яровой пшеницы 5 °C, для кукурузы — 10, для хлопчатника — 13 °C (для южных сортов хлопчатника — 15 °C). Суммы активных и эффективных температур установлены как для отдельных межфазных периодов, так и для всего периода вегетации многих сортов и гибридов основных сельскохозяйственных культур (табл. 11.1).

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 теп-

ле, 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.

4.6. ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Значение температуры воздуха для сельского хозяйства 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.

4.3. Биологический минимум температуры в разные периоды вегетации некоторых культур (по В. Н. Степанову, 1948), °С

Культура	Появление всходов и формирование вегетативных органов	Формирование генеративных 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 через эти границы активные жизненные процессы обратимо снижаются до минимального значения и протоплазма клеток

владеет 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 вредоносности. Влияние этого фактора начинает проявляться уже на первых этапах инфекционного процесса, обуславливая жизнеспособность возбудителя болезни и возможность его сохранения к началу вегетационного периода. Сохранение жизнеспособности возбудителя в значительной мере зависит от формы его существования в течение периода, когда прекращается вегетация растений. Наименее стойкими к воздействию среды в это время оказываются так называемые пропативные споры. Так, конидии возбудителя мучнистой росы пшеницы способны прорасти в большом диапазоне температур (от 0 до 35 °C), что не позволяет им сохраняться уже при температуре, близкой к 0 °C, а споры милдью виноградной лозы способны сохраняться около 20 сут лишь при температуре ниже 10 °C.

Температура среды регулирует и скорость прорастания спор (рис. 4.8).

Тесно связаны с температурным режимом распространение и вредоносность вредителей сельскохозяйственных растений. Для каждого вида вредных насекомых существуют оптимальные и предельные значения температуры. Так, у саранчи период развития от стадии личинки до взрослого насекомого при температуре 32...39 °C длится 20 сут, при 22...27 °C — около 52 сут. Недостаток тепла задерживает или прекращает развитие насекомых. Например, гусеница лугового мотылька при температуре ниже 17 °C не превращается в куколку, аналогичный эффект наблюдается у личинки жука-казарки при температуре ниже 14 °C.

Температура воздуха определяет также состояние, поведение и продуктивность сельскохозяйственных животных.

Тепло — один из основных экологических факторов жизнедеятельности биоценозов. Поэтому учет температурного режима воздуха важен для всех отраслей сельскохозяйственного производства как при выборе

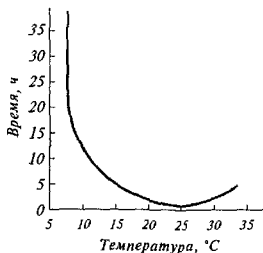


Рис. 4.8. Зависимость прорастания конидий возбудителя оидиума винограда от температуры воздуха (по Я. А. Сейдаметову, 1938)

проектных решений, например районирование культур и сортов сельскохозяйственных растений и пород животных, так и при выработке плановых: расчеты сроков сева и уборки, числа и сроков обработки посевов гербицидами, поливов и т. д.

Глава 5

ВОДЯНОЙ ПАР В АТМОСФЕРЕ

●

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: абсолютной влажностью, парциальным давлением водяного пара, давлением насыщенного пара, относительной влажностью, дефицитом насыщения водяного пара, температурой точки росы и удельной влажностью.

Абсолютная влажность a (г/м³) — количество водяного пара, выраженное в граммах, содержащееся в 1 м³ 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 разные 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 — это отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению

насыщенного водяного пара при данной температуре. Выражают ее обычно 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 ниже точки росы начинается конденсация водяных паров с образованием туманов, облаков, а на поверхности земли и предметов образуются роса, иней, изморозь.

Удельная влажность q (г/кг) — количество водяного пара в граммах, содержащееся в 1 кг влажного воздуха:

$$q = 622 \, e/P, \quad (5.3)$$

где e — упругость водяного пара, гПа; P — атмосферное давление, гПа.

Удельную влажность учитывают в зоометеорологических расчетах, например, при определении испарения с поверхности органов дыхания у сельскохозяйственных животных и при определении соответствующих затрат энергии.

5.2. ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК 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 проникает в результате турбулентной диффузии.

Проникновению водяного пара в вышележащие слои способствует то обстоятельство, что он легче воздуха в 1,6 раза (плотность водяного пара по отношению к сухому воздуху при 0 °С равна 0,622), 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.

Парциальное давление водяного пара с высотой уменьшается в 4...5 раз быстрее, чем атмосферное давление. Уже на высоте 6 км парциальное давление 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 понижение ее способствует насыщению пара и его конденсации.

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 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.

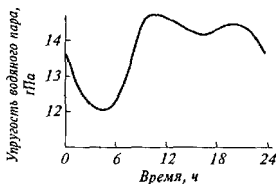


Рис. 5.1. Суточный ход упругости водяного пара в июле (г. Иркутск)

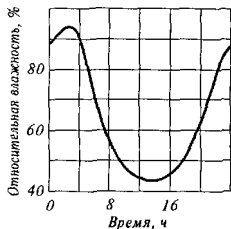


Рис. 5.2. Суточный ход относительной влажности в ясные дни в июне (г. Павловск под Санкт-Петербургом)

В теплое время года в глубине материков суточный ход влаго-содержания 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 влагосодержание 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 поступление 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 E растет значительно

быстрее, чем 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 алажности приходится на зиму, а максимум — на лето вследствие летнего переноса на сушу масс влажного морского воздуха: например, во Владивостоке летом $f = 89$ %, зимой $f = 68$ %.

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 (см. рис. 5.3).

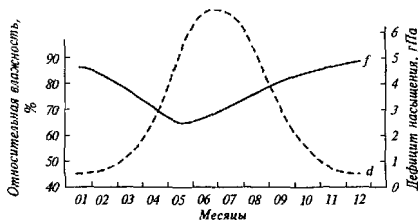


Рис. 5.3. Годовой ход относительной влажности воздуха (f) и дефицита насыщения водяного пара (d) (г. Санкт-Петербург)

5.4. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ

Растительный покров оказывает большое влияние на влажность воздуха. Растения испаряют большое количество воды и тем самым обогащают водяным паром приземный слой атмосферы, в нем наблюдается повышенное влагосодержание воздуха по сравнению с оголенной поверхностью. Этому способствует еще и уменьшение растительным покровом скорости ветра, а следовательно, и турбулентной диффузии пара. Особенно резко это 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, конопля) — 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).

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 в Молдавии (по Ю. И. Чиркову, 1969)

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), психометрическим 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 влажного 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 г/м³.

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

Наибольшее распространение получили психометрический и гигрометрический (сорбционный) методы.

Психометрический метод измерения основан на охлаждении одного из двух психометрических термометров за счет испарения, так как его резервуар обернут кусочком батиستا и перед измерением смачивается дистиллированной водой. На этом принципе действуют *станционный* и *аспирационный психометры*.

Станционный психометр устанавливают в психометрической будке (рис. 5.4) на метеоплощадке.

Аспирационный психометр МВ-4М (рис. 5.5) по принципу действия не отличается от станционного психометра. 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.

Рис. 5.4. Установка приборов в психометрической будке:

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

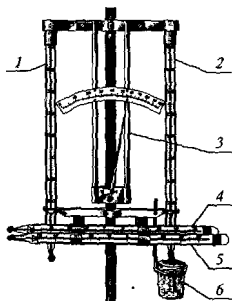




Рис. 5.5. Аспирационный психрометр МВ-4М

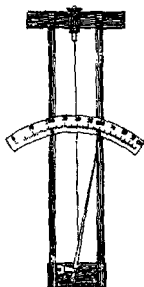


Рис. 5.6. Волосной гигрометр МВ-1

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

По психрометру влажность воздуха определяют только до температуры воздуха -10°C . При более низких температурах показания психрометра ненадежны, поэтому переходят на сорбционный 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). Приемни-

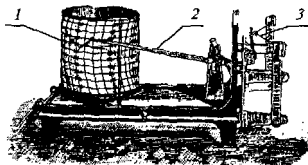


Рис. 5.7. Гигрограф волосной М-21А:

1 — барабан с лентой; 2 — стрелка с пером; 3 — пучок волос

ком влажности является пучок обезжиренных человеческих волос. В зависимости от скорости вращения барабана различают 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 главе 2, большое значение в сохранении тепла на земной поверхности, так как он поглощает излучаемое ею тепло. Влажность воздуха относится к числу элементов погоды, имеющих существенное значение и для сельскохозяйственного производства.

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

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

Малое влагосодержание воздуха приводит к мелкоплодности плодовых, ягодных культур, винограда, слабой закладке почек под урожай будущего года и, следовательно, снижению 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 и снижает урожай, так как меньше раскрываются пыльники, уменьшается лёт насекомых.

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).

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

5.2. Влажность зерна и соломы в зависимости от дефицита насыщения водяного пара (по А. П. Федосееву, 1979)

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

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).

5.3. Число растений яровой пшеницы Цезиум 111, пораженных головней в зависимости от влажности и температуры воздуха (по А. Т. Тропицкой, 1936), %

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

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

В тепловом балансе сельскохозяйственных животных и человека с влажностью воздуха связан теплообмен. При температуре воздуха ниже 10 °С повышенная влажность усиливает теплоотдачу организмов, а при высокой температуре — замедляет.

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.

На испарение затрачивается значительное количество тепла, составляющее для всей земной поверхности порядка $12,6 \cdot 10^{23}$ Дж/год, или около 30 % поглощаемого Землей солнечного тепла. За год с поверхности Мирового океана испаряется около $450 \cdot 10^3$ км³ воды, а с поверхности суши — $70 \cdot 10^3$ км³.

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 м², соответствует массе воды в 1 кг или 1 л воды (1 мм слоя воды = 10 м³/га = 10 т/га).

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 ω 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, вычисленного по температуре испаряющей поверхности.

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.

Под *испаряемостью* понимают максимальное количество влаги в миллиметрах, которое может в данных метеорологических условиях испариться с водной поверхности или с поверхности переувлажненной почвы за какой-либо промежуток 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 этом же направлении увеличивается разность между возможным и фактическим испарением с почвы.

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 солёности 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 плотная 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). 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, транспирация зависит еще от освещенности.

Интенсивность транспирации зависит 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 таблице 6.1.

Под *суммарным испарением* понимается сумма транспирации, испарения с почвы и испарения влаги, задержанной растительным покровом при выпадении осадков. Суммарное испарение

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	Ячень	310...770
Рис	500...800	Лиственные породы деревьев	400...600
Кукуруза	250...300		
Конопля	600...800		

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 ИСПАРЯЕМОСТИ И 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^2 , а также испарители ГГИ-3000 (площадь $0,3 \text{ м}^2$, глубина 60 см). Наблюдения 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.

Фактическое испарение влаги с полей, занятых сельскохозяйственными культурами, определяют с помощью *почвенного испарителя* ГГИ-500-50 (рис. 6.1). В зоне недостаточного увлажнения используют испаритель ГГИ-500-100 (для слоя почвы $0 \dots 100 \text{ см}$). 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. Для определения испарения цилиндр с почвенным монолитом каждые пять дней вынимают из внешнего цилиндра и взвешивают. При этом испарение рассчитывают по формуле

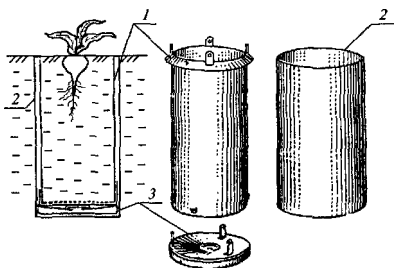


Рис. 6.1. Почвенный испаритель ГГИ-500-50:

1 — внутренний цилиндр; 2 — внешний цилиндр; 3 — водосборный сосуд

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

где E — слой воды, испарившейся между двумя взвешиваниями, мм; 20 — множитель для перевода количества испарившейся 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 см² помещен в поплавок, находящийся в баке с водой. Глубина погружения монолита меняется в зависимости от испарения.

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, водоснабжением 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 ис-

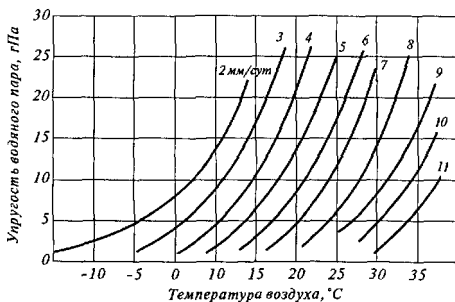


Рис. 6.2. Зависимость максимально возможного испарения (испаряемости) с сельскохозяйственных полей при оптимальном увлажнении почвы от температуры воздуха и парциального давления водяного пара

пользовать 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 *полезных лесных полос*, 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 %.

Кулисы из высокостебельных растений также способствуют накоплению влаги. Например, в засушливых районах кулисы подсолнечника способствуют увеличению запасов почвенной влаги к началу сева яровых более чем на 40 мм (400 т воды на 1 га).

Очень важное мероприятие, способствующее накоплению влаги в почве и уменьшению испарения вследствие разрушения капилляров, — *зяблевая обработка почвы, междурядная обработка* пропашных культур, *ранневесеннее боронование* ячьи. 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.

Применение ранней зяблевой вспашки уменьшает весенний поверхностный сток в сухостепных районах, по данным М. И. Львовича, в 5 раз, в степных — в 3...4, в лесостепных — в 2 раза. Уменьшению стока способствует также осеннее *щелевание почвы*. 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 ячьи* увеличивало запасы влаги в метровом слое на 24...28 мм по сравнению с обычной вспашкой поперек склона, сокращая в 2...2,5 раза поверхностный сток.

В засушливых районах юга Западной Сибири большой эффект дает *безотвальная вспашка* 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.

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

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

Изыскание эффективных способов снижения непродуктивного испарения из почвы и растений остается насущной 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 (сублима-

ции). 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, а при определенных условиях — гололед.

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, 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/м²) осадков; годовое количество влаги, выделяемое росой, составляет 10...30 мм (100...300 м³/га). Образование росы сопровождается выделением скрытой теплоты парообразования, в результате чего процесс выхолаживания 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. 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.

Твердый налет представляет собой полупрозрачный, беловатого цвета ледяной налет толщиной до 2...3 мм, отлагающийся вследствие сублимации на наветренных сторонах различных холодных предметов при адвективном потеплении (приток более теплого воздуха, часто при тумане), причем температура воздуха остается отрицательной.

При зимних оттепелях в пасмурную погоду или при тумане на вертикальных поверхностях, которые холоднее воздуха, часто появляется *жидкий налет*, поверхности «запотевают».

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 температу-



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

ре ниже -15°C . 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°C), 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 открытой водой.

Туманы имеют как положительное, так и отрицательное значение в жизни 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, неблагоприятны. В период цветения растений они 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.

Туманы, образующиеся в период формирования и созревания плодов сельскохозяйственных культур, ухудшают их лежкость при хранении и снижают качество, а образующиеся в период уборки зерновых задерживают созревание 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:

первая — водяные облака, состоящие из капелек. Они могут существовать и при небольших отрицательных температурах. В этом случае капельки находятся в переохлажденном состоянии, что вполне обычно в атмосферных условиях;

вторая — ледяные облака, состоящие только из кристалликов при достаточно низких температурах;

третья — смешанные облака, состоящие из переохлажденных капелек и кристалликов при умеренных отрицательных температурах.

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 $0,2...5 \text{ г/м}^3$, в кристаллических — сотые и тысячные доли грамма на 1 м^3 .

В зависимости от условий образования облака разделяют:

на 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, обла-

ка состоят из переохлажденных капель и снежинок, а выше уровня оледенения — из кристалликов льда. Верхняя граница облаков определяется высотой подъема воздуха.

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).



Рис. 6.4. Орографическое облако (вершина курится)

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

Б. Семейство облаков среднего яруса (высота основания 2...6 км): высококучевые, *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): кучевые, *Cumulus* (кумулюс, Cu); кучево-дождевые, *Cumulonimbus* (кумулонimbus, Cb).

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

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

Облака верхнего яруса. 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.



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

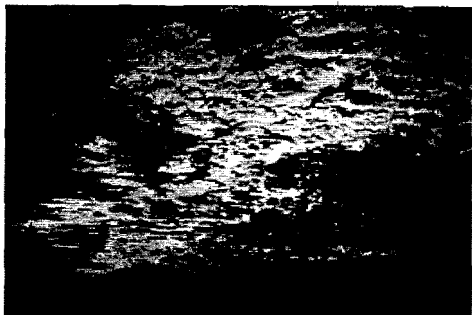


Рис. 6.6. Высококучевые просвечивающие облака — *Altostratus translucidus* (Ac trans.)

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 — это тонкая прозрачная белесоватая пелена, частично или полностью закрывающая небосвод. В них иногда различается волокнистая структура. Эти облака часто дают оптические явления, называемые *гало* — светлые, слегка окрашенные в радужные цвета (красный — вовнутрь) круги вокруг Солнца или Луны. Осадки Земли не достигают.

Облака среднего яруса. Высококучевые 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, непосредственно примыкающие к диску Солнца или Луны. Осадки эти облака не дают.

Высокослоистые облака — смешанные по составу облака. Светлая или синеватая однородная пелена, слегка волнистая. Солнце и Луна могут просвечивать, как сквозь матовое стекло. Летом осадки из высокослоистых 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.



Рис. 6.7. Слоисто-кучевые просвечивающие облака — *Stratocumulus translucidus* (Sc trans.)

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 наблю-



Рис. 6.8. Кучевые облака хорошей погоды — *Cumulus humilis* (Cu hum)



Рис. 6.9. Кучево-дождевое облако — Cumulonimbus (Cb)

дают 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.

Кучево-дождевые облака — плотные, мощные кучевообразные массы, очень сильно развитые по вертикали, смешанные по составу (рис. 6.9). С ними всегда связано выпадение осадков.

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.

Глава 7

ОСАДКИ



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 за счет 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 такого 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, 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 $0,001 \text{ м} \cdot 10000 \text{ м}^2 = 10 \text{ м}^3$, 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 таблице 7.1.

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
Продливной 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 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 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* наблюдается 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° с.ш. ... 10° 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 наблюдается два максимума осадков — после весеннего и осеннего равноденствия и два минимума — после летнего и зимнего солнцестояния.

В тропическом поясе (между 10 и 30° 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° 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° 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.

Наибольшее количество осадков на Земле выпадает на юго-западном склоне Гималаев в Индии, на Гавайских островах и в некоторых районах тропической Африки, где за год количество осадков составляет более 10 000 мм (!) осадков. 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 обл. и Калмыкия).

Соотношение сумм осадков теплого и холодного периодов на территории России приведено в таблице 7.2.

7.2. Среднее многолетнее количество осадков в некоторых районах России, мм

Станция	Сумма осадков за год	Период		Годовой	
		холодный (11...03)	теплый (04...10)	максимум	минимум
Вологда	529	132	397	804	403
Москва	617	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.

Графически годовой ход осадков можно представить в виде графика — *гистограммы*, которая состоит из смежных прямоугольников — месяцы, а высоты — суммы осадков (рис. 7.1).

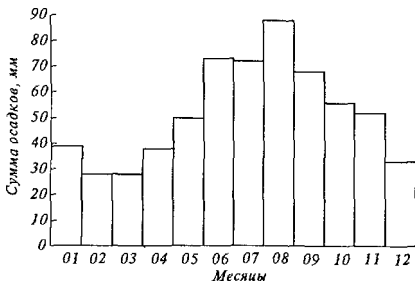


Рис. 7.1. Годовой ход осадков (метеостанция, г. Мичуринск)

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, измерительный стакан. Верхний край ведра должен находиться на высоте 2 м от действительной 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 П-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 дождемерное ведро и измерительный стакан.

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.

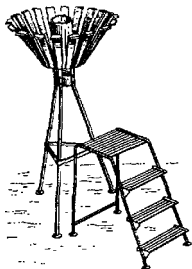


Рис. 7.2. Осадкомер
Третьякова О-1



Рис. 7.3. Дождемер
полевой М-99

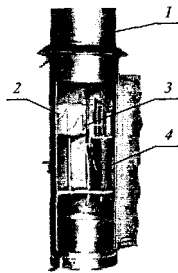


Рис. 7.4. Плювиограф П-2:

1 — приемный сосуд; 2 — барабан с лентой; 3 — стрелка с пером; 4 — поплавковая камера

7.4. ЗНАЧЕНИЕ ОСАДКОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Осадки — основной источник влаги для сельскохозяйственных полей. Непосредственное воздействие осадков на растения может быть положительным 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 механические повреждения плодов, 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 шуплое 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. Зоидзе, начиная с фазы кущения до конца фазы колошения, число дней с дождем и количество осадков дают положительные коэффициенты корреляции с урожайностью. Наиболее тесные связи получены с числом дней с дождями и количеством осадков за период 3...6-й декад после сева, что соответствует периоду кущение—колошение.

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 России, где уборку нередко проводят при дождливой погоде, принято прямое комбайнирование с последующей просушкой зерна.

Учет режима осадков необходим для обоснования мелиоративных мероприятий, технологии возделывания сельскохозяйственных культур, определения сроков и способов их уборки.

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 развивающиеся кучевые облака с целью предотвращения сильных ливней, градобитий.

Для образования и выпадения интенсивных осадков необходимы определенные условия: сильные восходящие движения воздуха, большая влажность 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 облака, вводя в них мелкие кристаллы 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 CO_2 на 1 км³ 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.

При естественном образовании осадков облако или облачная система выделяет влаги в 10...20 раз больше, чем в них содер-

жится 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. 12.3).

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. Восйков. 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, в Центральной Сибири и на Камчатке. На большей части территории России средняя из наибольших 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 дня на метеорологических станциях ежедневно измеряют *высоту снежного покрова* по трем постоянным *снегомерным рейкам* (затем вычисляют среднюю высоту), определяя *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 изме-

ряют 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, г/см³,

$$\rho = m/V = 5n/50h = n/10h, \quad (7.1)$$

где m — масса снега, г; V — объем снега, см³; 5 — цена деления шкалы весов, г; n — число делений, отсчитанных по шкале; 50 — площадь сечения цилиндра, см²; h — высота снега по шкале цилиндра, см.

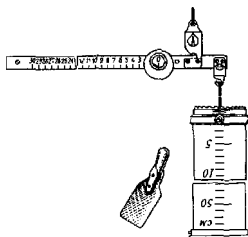


Рис. 7.5. Весовой снегомер ВС-43

Плотность снега изменяется от 0,01 г/см³ (свежевыпавший снег) до 0,6 г/см³ (слежавшийся снег, начавший таять), в зимние месяцы средняя плотность снежного покрова составляет около 0,2 г/см³.

Плотность снега — важная характеристика снежного покрова. От нее зависит, во-первых, теплопроводность снега: чем больше плотность, тем больше теплопроводность. При плотности снега 0,2...0,3 г/см³ коэффициент теплопроводности составляет 0,13...0,25 Вт/(м·К). Таким образом, коэффициент теплопроводности снега 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/см³.

В сельскохозяйственной практике обычно все расчеты ведутся в кубических метрах или тоннах на 1 га. Тогда

$$Z = 100h_{\text{р}}. \quad (7.3)$$

При снегосъемках в местах взятия проб отмечают также наличие ледяных корок. Особенно важно установить наличие приотертой 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.

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 (1948) 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.

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 кущения (3 см). А зная критическую температуру для данной сельскохозяйственной культуры и наблю-

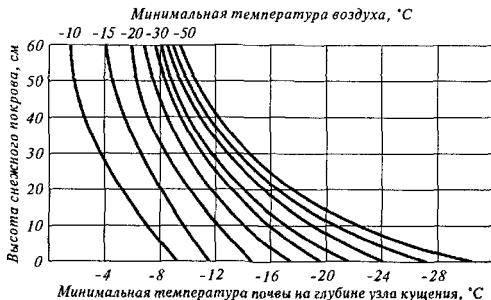


Рис. 7.6. Связь минимальной температуры почвы на глубине 3 см с минимальной температурой воздуха при различной высоте снежного покрова (по А. М. Шульгину)

дающуюся 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°C и высоте снежного покрова 10 см температура почвы на глубине 3 см равна -16°C , а при высоте снега 40 см — только -9°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, характера весны. 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:

1. Насаждение *полезацищных лесополос*.
2. Посев высокостебельных растений (подсолнечник, кукуруза, горчица и др.) с последующим их оставлением на зиму. Эти растения высевают узкими полосами — *кулисами*. 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 показали, что лучший результат дают кулисы из горчицы и подсолнечника (рис. 7.7).

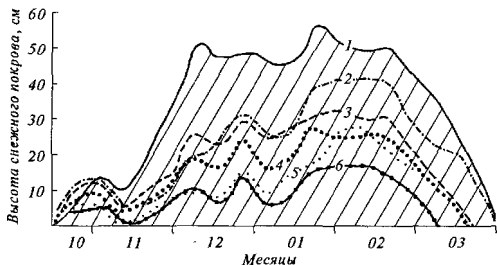


Рис. 7.7. Динамика снегонакопления на различных фонах снегозадержания (г. Барнаул):

1 — кулисы горчицы; 2 — кулисы подсолнечника; 3 — высокая стерня; 4 — средняя стерня; 5 — низкая стерня; 6 — пар (контроль)

3. Установка снегозадерживающих щитов перпендикулярно преобладающему направлению ветра. Группы щитов (по 4...5) 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.

4. Снегопахоту проводят снегопахами на тракторной тяге, которые собирают снег в плотные высокие валы, перпендикулярные направлению господствующего ветра, на расстоянии 10...15 м друг от друга.

5. 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 %.

В районах, где снежный покров мощный и где возможно выпревание озимых, проводят уплотнение снега. Этот прием увеличивает теплопроводность снега, в результате чего снижается температура почвы на глубине узла кущения озимых. Опыты, проведенные на Красноуфимской селекционной станции, показали, что в результате уплотнения снега температура почвы ста-

ла на 3,6...4,8 °С ниже, чем на контрольном участке. Вызревания не наблюдалось, и урожайность была на 0,55 т/га больше, чем на участке без уплотнения.

С целью ускорения таяния и освобождения пашни от снега используют прием *снегосгонки* — покрытие поверхности снега торфяной крошкой, сажей, 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.

Глава 8

ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА

●

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.

Во многих районах нашей страны колебания урожаев от года к году чаще всего зависят от различной влагообеспеченности растений.

Поэтому в системе Росгидромета на метеорологических 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 зависимостей состояния сельскохозяйственных культур и урожая от влагообеспеченности, дано обоснование некоторых агрогидрологических приемов.

8.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И МЕХАНИЗМЫ ЕЕ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Соответственно механизму удержания выделяют три различные по физическим и химическим свойствам категории (формы) почвенной воды: связанную, капиллярную и гравитационную.

Связанная вода удерживается адсорбционными силами на поверхности почвенных частиц. 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)*, поэтому по своим свойствам адсорбированная вода близка к твердому телу. Она носит название *прочносвязанной* воды и может передвигаться, только переходя в пар. Плотность ее больше единицы, замерзает она при температуре -4°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 10 000 до 50 000 гПа), поэтому имеют рыхлое строение. По терминологии А. А. Роде — это *рыхлосвязанная вода*. 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°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 — *пленочная влага*).

Капиллярная вода находится поверх пленочной, поэтому удерживается в почве силой около 500 гПа и меньше. Температура ее замерзания около 0°C . Капиллярная вода способна растворять вещества, подвижна. Она передвигается под действием силы тяжести и капиллярных (менисковых) сил. Капиллярная вода доступна для растений, это наиболее благоприятная для них форма почвенной влаги.

Различают *капиллярно-подвешенную* и *капиллярно-подпертую* воду. Капиллярно-подвешенная вода 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) 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 по-

* 1 атм = 1000 гПа.

верхности почвы и испаряется. При этом минерализованные грунтовые воды обогащают почву солями, что способствует засолению и осолонцеванию почв.

Гравитационная вода 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 свободную* воду, которая передвигается сверху вниз по профилю почвы, и *гравитационную подпертую* (почвенные и почвенно-грунтовые воды), которая перемещается по направлению водоупорного слоя.

Физические и химические свойства гравитационной воды 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.).

Смена механизмов удержания влаги при изменении влажности почвы происходит 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 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 связанности, 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 Росгидромета 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* (МГ) почвы — максимальному количеству гигроскопичной воды, которое может поглотить и удержать почва, помещенная в атмосферу, насыщенную водяными парами ($f = 96...98\%$).

Максимальная гигроскопичность почвы определяется ее удельной поверхностью: чем больше удельная поверхность почвы, тем больше ее максимальная гигроскопичность. Удельная же поверхность почвы зависит от размера почвенных частиц: чем мельче частицы, тем больше удельная поверхность. В связи с этим максимальная гигроскопичность минеральных почв гораздо меньше, чем органических, а выражается она в процентах от массы абсолютно сухой почвы. Максимальная гигроскопичность (недоступная влага) почв различного гранулометрического состава над 10%-й серной кислотой по данным С. А. Вериги, Л. А. Разумовой, 1973 (% 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 — тургор растений не восстанавливается даже в воздухе, близком к состоянию насыщения водяными парами. В результате прекращаются прирост и формирование урожая.

Влажность устойчивого завядания не зависит от вида произрастающих растений и 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) 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
Горфяная	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 обработку почвы.

Влажность разрыва капилляров (ВРК), или влажность угнетения, характеризует нижний предел оптимальной влажности 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.

Значение ВРК зависит от гранулометрического и агрегатного составов, сложения почвы и составляет примерно 50...70 % НВ.

При содержании воды в почве меньше ВРК рост растений замедляется и снижается их продуктивность.

Наименьшая влагоемкость (НВ) — максимальное количество капиллярно-подвешенной воды, которое при отсутствии растений и физического испарения может содержаться в почве в условиях свободного дренирования, т.е. после стекания избыточной свободной воды. Наряду с термином «наименьшая влагоемкость» часто используют термины-синонимы: полевая влагоемкость, общая влагоемкость, предельная полевая влагоемкость.

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 легкосуглини-

тых, 6...15 — для супесчаных и 2...6 % — для песчаных. Обобщенные значения наименьшей влагоемкости для некоторых разновидностей почв представлены в таблице 8.1.

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

НВ — важнейшая агрономическая характеристика почвы, так как показывает запас доступной для растений воды, который почва может удерживать длительное время. 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* и 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 над зеркалом грунтовых вод (в пределах капиллярной каймы). КВ зависит от скважности почвы, материнской породы (грунта), глубины залегания грунтовых вод. КВ наибольшая при неглубоком залегании грунтовых вод и 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. 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 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.

Доступная для растений почвенная влага находится в пределах от наименьшей влагоемкости до влажности разрыва капилляров. Это оптимальный диапазон влажности. Однако 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, конопля, картофель, гречиха, горох, капуста, клевер, полевые многолетние травы, смородина	70...80
Сахарная свекла, подсолнечник, виноград, корнеплоды, люцерны	60...70
Зернобобовые	50...60
Зерновые культуры (озимые и яровые)	30...40

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 отбирают пробы почвы через каждые 10 см до глубины 50 или 100 см в четырехкратной повторности. Из нижней трети бурового стакана почву перекладывают в алюминиевые сушильные стаканчики и закрывают крышками. После отбора проб стаканчики с почвой достав-

ляют 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, суглинистых — 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; ρ — объемная масса почвы, г/см³; 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; *нейтронный* — на измерении степени ослабления интенсивности гамма-лучей. Измерения проводят дистанционно с вертолетов, самолетов. Это позволяет увеличить повторность измерений и репрезентативность (достоверность) полученных данных, так как даже на одном поле наблюдается большая пестрота в физико-химическом составе почвы, в условиях микро-рельефа и т. д.

8.4. ПРОДУКТИВНАЯ ВЛАГА

Для сельскохозяйственного производства основное значение имеет та часть почвенной влаги, которая обеспечивает формирование урожая культурных растений, т. е. превышает влажность устойчивого завядания. Так как накапливается растительная масса и формируется продуктивность лишь за счет этой влаги, ее называют *продуктивной влагой*.

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).

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, вычисляют по формуле

$$W_{\text{пр}} = 0,1\rho h(W - K), \quad (8.3)$$

где 0,1 — коэффициент для перевода запасов влаги в миллиметры; ρ — объемная масса почвы, г/см³; 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 являются постоянными для данной конкретной почвы и практически не изменяются при изменении влажности почвы.

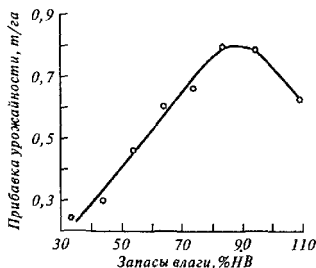


Рис. 8.1. Зависимость эффективности НРК от запасов влаги в метровом слое почвы за период вегетации зерновых культур

По методике, принятой на сети гидрометеорологических станций, запасы подсчитывают для каждого 10-сантиметрового слоя почвы, которые затем суммируют.

8.5. ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ НА СОСТОЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Состояние посевов сельскохозяйственных культур и их урожайность в значительной степени зависят от количества продуктивной влаги в почве. Степень соответствия потребности растений в почвенной влаге для формирования высоких урожаев имеющимся запасам продуктивной влаги в почве называют *влагообеспеченностью растений*. Методы количественной оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур начали разрабатывать в начале 40-х годов, для чего использовали сопряженные наблюдения за влажностью почвы и состоянием различных сельскохозяйственных культур.

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. Удовлетворительное состояние всходов соответствует запасам влаги 12...15 мм, а отличное состояние всходов наблюдают при влажности, близкой к наименьшей влагоемкости. В период от кущения 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 количество стеблей и число колосков в колосе. Хорошее состояние растений отмечается при запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы 30...40 мм. В фазу выход в трубку — цветение запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы меньше 80 мм ухудшают состояние посевов и снижают урожай. Хорошее состояние посевов зерновых культур и высокие урожаи бывают при запасах продуктивной влаги 100...200 мм.

На основании исследований влияния запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на урожайность озимой пшеницы Е. С. Уланова (1975) установила различные градации запасов влаги и дала их оценку в основные периоды весенне-летней вегетации (табл. 8.2).

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.

8.2. Оценка запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы

Фаза	Запасы продуктивной влаги, мм			
	хорошие	удовлетвори- тельные	недостаточ- ные	плохие
Возобновление вегетации	150...200	120...150	100...120	< 100
Выход в трубку	140...180	100...140	80...100	< 80
Колошение	80...140	60...80	40...60	< 40
Палив зерна	80...100	40...80	30...40	< 25

Для картофеля после цветения оптимальные запасы продуктивной влаги в слое почвы 50 см составляют 60...70 мм. Снижение запасов влаги до 30...35 мм в этот период вегетации резко снижает формирование и рост клубней.

Наблюдения, проведенные А. П. Лосевым, показали, что снижение продуктивной влаги в слое 0...120 см до 60...80 мм в летний период вызвало ослабление интенсивности роста плодов яблони и частичное засыхание листьев на деревьях.

8.6. 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.

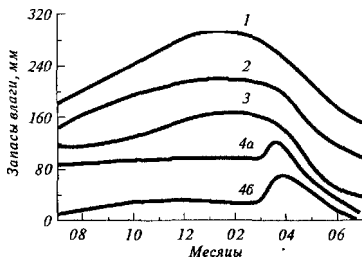


Рис. 8.2. Типы годового хода запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами:

1 — обводнения; 2 — капиллярного увлажнения; 3 — полного весеннего промачивания; 4а — слабого весеннего промачивания в засушливых районах; 4б — слабого весеннего промачивания в сильно засушливых районах

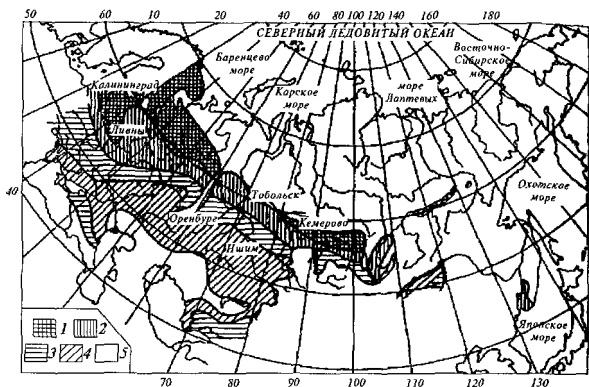


Рис. 8.3. Агрогидрологические зоны:

1 — обводнения; 2 — капиллярного увлажнения; 3 — полного весеннего промачивания; 4 — слабого весеннего промачивания; 5 — районы горные, поливные и слабо изученные в отношении влажности почвы

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.

Зону капиллярного увлажнения наблюдают в районах, где грунтовые воды достигают корнеобитаемого слоя лишь в моменты наивысшего стояния, а верхняя граница капиллярной каймы в подавляющем большинстве случаев в течение года залегает в корнеобитаемом слое и только в отдельные моменты выходит на земную поверхность. Эта зона расположена 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 перенасыщена. 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 талыми 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 наблюдают осенью, при этом в засушливые годы возможно полное иссушение почвы до глубины 50 см и больше.

8.7. 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 и для определенного слоя 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 поверх-

ностный 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 внутрипочвенного 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 ($M_{г}$). В некоторых случаях в почву может поступать небольшое количество воды из атмосферы в виде пара, конденсирующегося в почве ($M_{к}$).

Расходная часть водного баланса почвы состоит из следующих элементов: поверхностный ($M_{п.с}$) и внутрипочвенный ($M_{в.с}$) 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

$$W_{пр.к} - W_{пр.н} = (r + M_{п.п} + M_{в.п} + M_{г} + M_{к}) - (M_{п.с} + M_{в.с} + M_{ин} + E + E_{тр}), \quad (8.4)$$

где $W_{пр.н}$ и $W_{пр.к}$ — запасы продуктивной влаги в почве на начало и конец периода, мм.

Для случая плоской поверхности, когда нет ни притока воды на данную территорию, ни оттока с нее, когда отсутствует также внутрипочвенный 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:

$$W_{пр.к} - W_{пр.н} = r - E - E_{тр} \quad (8.5)$$

или

$$\Delta W = r - E_{\Sigma}, \quad (8.6)$$

где ΔW — изменение запасов продуктивной влаги за расчетный период, мм; E_{Σ} — суммарное испарение, мм ($E_{\Sigma} = E + E_{тр}$).

Все элементы водного баланса непрерывно меняются во времени и в пространстве в зависимости от погоды. Смена холодного и теплого сезонов года является одним 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 внутрипочвенного 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.

В различные периоды времени (весна, лето, осень, зима) баланс воды в почве меняется, 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.

8.8. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ

Основными методами регулирования водного режима почвы являются 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.

С помощью стационарных или временных систем орошения воду забирают из водоемов и распределяют с помощью трубопроводов и каналов по полям.

Применяют следующие способы полива: дождевание, поверхностный (по бороздам, чекам, лиманам), капельный, внутрипочвенный.

Орошают сельскохозяйственные культуры в период вегетации и осенью (влагозарядковое).

Число поливов, их сроки и нормы регулируют так, чтобы со-

здать оптимальные условия влажности почвы для роста, развития растений и формирования их урожая. Правильный учет сложившихся и ожидаемых условий погоды позволяет эффективно расходовать воду и не ухудшать мелиоративное состояние почвы.

Под влиянием орошения урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается в 1,5...2 раза и более.

В районах избыточного увлажнения, а также на заболоченных территориях, наиболее характерных для Нечерноземья, для улучшения водного режима почв применяют различные способы *осушения*. При этом улучшается их аэрация и температурный режим, что также способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур. В то же время в засушливые годы на осушенных почвах влагообеспеченность посевов может резко ухудшаться. Поэтому 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.

Полезащитные лесные полосы — важное средство улучшения влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в засушливых районах. Они уменьшают скорость ветра и непродуктивное испарение с полей, препятствуют сдуванию снега с полей, а весной сокращают поверхностный сток талых вод. Ослабление скорости ветра зависит от конструкции лесной полосы — наиболее эффективными являются продуваемые полосы. Влияние лесных полос отмечается на расстоянии от 10...15 до 30...50-кратной высоты полосы.

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.

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 расхода 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.

Важным средством накопления и сохранения почвенной влаги являются приемы обработки почвы. Ранняя зяблевая пахота, ранневесеннее боронование зяби, рыхление междурядий пропашных культур уменьшают непродуктивное испарение с поверхности почвы. Верхний рыхлый слой почвы снижает потери влаги на испарение, хорошо аккумулирует выпадающие осадки и весенние талые воды. 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...100 см) дает осенняя глубокая безотвальная вспашка, предложенная Т. С. Мальцевым. 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 %.

Уменьшает непродуктивное испарение с почвы и ее мульчирование.

Глава 9

ВЕТЕР В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА

9.1. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЕТРА

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

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

В зависимости от географической широты и подстилающей поверхности, высоты над уровнем моря и т. п. одни участки земной поверхности нагреваются больше, чем другие. Вследствие этого возникает разность температур, приводящая к образованию разности в давлении.

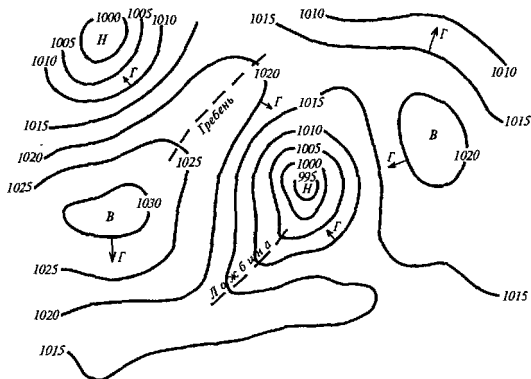


Рис. 9.1. Изобары на уровне моря (гПа):

H — центр низкого давления; *B* — центр высокого давления; *Г* — горизонтальный барический градиент

Чтобы получить наглядное представление о распределении атмосферного давления по земному шару или большому региону, на географическую карту наносят давление, измеренное в одно и то же время в разных районах Земли. Затем пункты, в которых давление одинаково, соединяют плавными линиями. Эти линии называют *изобарами* (рис. 9.1).

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* (Γ), направленный по нормали к изобаре в сторону уменьшения давления (см. рис. 9.1). Барический градиент выражается в гектопаскалях или в миллибарах на 1° меридиана или на 100 км. Обычно барический градиент составляет 1...3 гПа на 100 км.

Горизонтальный барический градиент и является той силой, которая вызывает 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° . 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 общего числа наблюдений. Число штилей в 100 % не входит (подсчитывают отдельно). Направление ветра и среднее число штилей за июль для 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 даст наглядное представление о том, какое направление ветра за данный период является господствующим.

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 медонос-

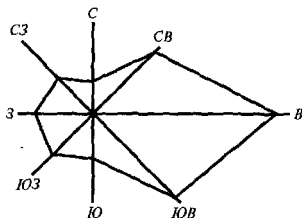


Рис. 9.2. Роза ветров за июль для Мичуринска

ные 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).

9.1. Соотношение скорости ветра и силы ветра по шкале Бофорта

Скорость, м/с	Баллы Бофорта	Характеристика	Оценки ветра визуально
0...0,5	0	Штиль	Дым поднимается вертикально, листья неподвижны
0,5...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 колеблются
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

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 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.

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

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

На метеорологических станциях направление ветра в приземном слое определяют *флюгером станционным (Вильда)* ФВЛ, ФВТ (рис. 9.3). 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.

Анемометр ручной чашечный МС-13 (рис. 9.4) предназначен для определения скорости ветра в поле, плодовом саду, на опытных посевах и т. д.

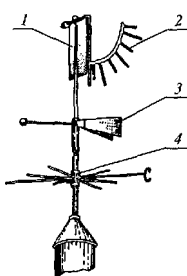


Рис. 9.3. Флюгер станционный (Вильда) ФВЛ, ФВТ:

1 — металлическая пластина;
2 — дуга со штифтами (для определения скорости ветра);
3 — флюгарка с противовесом;
4 — муфта

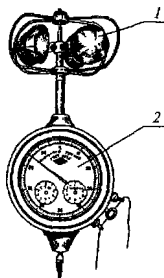


Рис. 9.4. Анемометр ручной чашечный МС-13:

1 — приемник скорости;
2 — счетный механизм



Рис. 9.5. Анеморумбометр М-63М

На метеостанциях также широко используют дистанционные электрические анемометры и анеморумбометры (М-63М) (рис. 9.5), а также самопишущие приборы для непрерывной регистрации направления и скорости ветра — анеморумбографы (М-64) и др.

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*.

Представление об общей циркуляции атмосферы можно составить по средним многолетним картам распределения атмо-

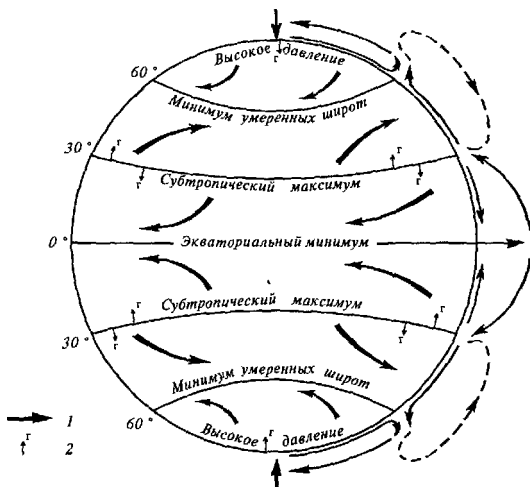


Рис. 9.6. Распределение атмосферного давления и ветров у земной поверхности; справа — меридиональный разрез направления ветра (по А. П. Шубаеву):

1 — направление ветра; 2 — направление горизонтального барического градиента

ферного давления и ветра, на которых отчетливо проявляется их *зональность* (рис. 9.6). В экваториальном поясе шириной примерно 10° 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.

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.

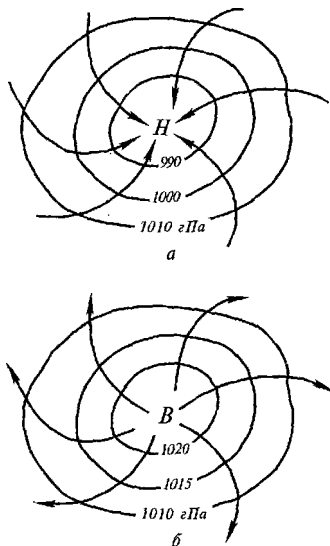


Рис. 9.7. Схемы барических систем:

а — циклон; *б* — антициклон и направление ветра в них (Северное полушарие, приземный слой)

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. 9.7).

Например, в январе (рис. 9.8, а,б) экваториальная депрессия распадается на три центра низкого давления: над Южной Америкой, Южной Африкой, Австралией и Индонезией, в июле формируются два центра: Южноазиатский и Мексиканский минимумы. В субтропическом поясе выделяются такие центры высокого давления, как Азорский и Гоголулский антициклоны и т. д. С такими крупномасштабными циклонами и антициклонами и связаны воздушные течения общей циркуляции атмосферы, определяющие климатические особенности в зонах их действия.

Пассаты — это устойчивые восточные ветры в обращенных к экватору частях субтропических антициклонов умеренной скорости (в среднем 5...6 м/с у земной поверхности).

Муссоны — это 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 океаном 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.

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, в 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.

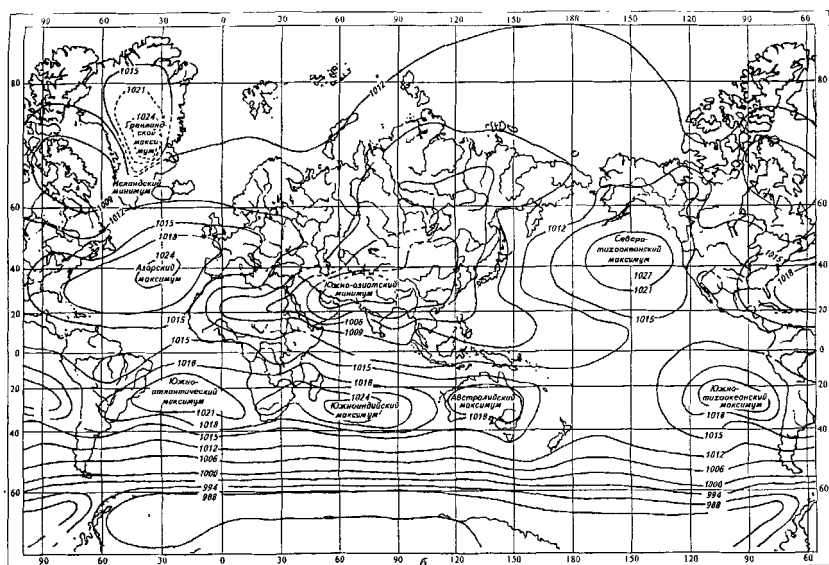
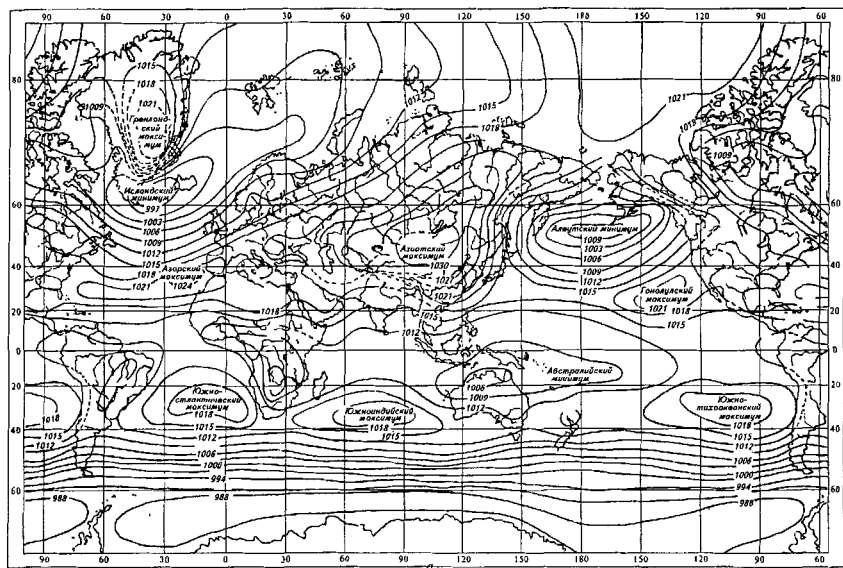


Рис. 9.8. Давление воздуха на уровне моря (гПа) (по Д. И. Стехновскому):

а – январь; б – июль

9.6. МЕСТНЫЕ ВЕТРЫ

Воздушные течения в нижнем слое атмосферы, характерные для определенных ограниченных географических районов, называются *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 побережьях морей, озер и характеризующиеся сменой их направления в течение суток: ночью они направлены с суши на водные поверхности, днем, наоборот, с водной поверхности на сушу (рис. 9.9).

Бризы связаны с суточным ходом температуры деятельной поверхности. Днем поверхность суши нагревается больше, чем 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 °C и более) и повышают влажность воздуха (на 10...20 % и более). Особенно резко это выражено в тропиках, в областях антициклонов.

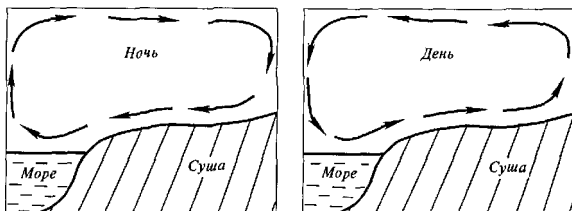


Рис. 9.9. Схема бризов

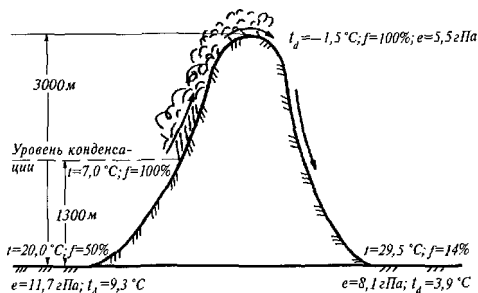


Рис. 9.10. Схема образования фёна

В России бризы наблюдаются в теплое время года на побережьях Черного, Азовского, Каспийского и Балтийского морей. На побережьях больших озер 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 над долиной. 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. 9.10). Чем больше высота, с которой опускался воздух, тем выше температура 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 повыше-

нию уровня и разливу рек. Зимой фёны 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 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 более. Холодный ветер,



Рис. 9.11. Обледенение набережной во время боры (г. Новороссийск)

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. 9.11). 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 — *сармой*, 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, животных и состояние деятельной поверхности зависят 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, поля и животноводческие фермы.

Во влажные вёсны ветер благоприятствует подсыханию верхних слоев почвы, зерна в валках при раздельной 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 атмосферной засухе. 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 пче-

ловодству. 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.

Большое зло причиняет ветер при переносе семян 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 при опылении ядохимикатами садов с самолетов и вертолетов.

Глава 10

ПОГОДА И КЛИМАТ

●

10.1. ПОГОДА. ПЕРИОДИЧЕСКИЕ И НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОГОДЫ

Погодой называется состояние атмосферы над данной территорией в данное время, определяемое физическими процессами, происходящими в ней при взаимодействии с подстилающей поверхностью. С качественной и количественной стороны физическое состояние атмосферы и процессы, совершающиеся в ней, выражаются через так называемые *метеорологические элементы*: температуру и влажность почвы, атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, облачность, осадки, ветер и др. Они находятся между собой в тесной взаимосвязи и всегда действуют совместно, проявляясь в сложных и изменчивых сочетаниях. Число сочетаний метеорологических элементов и, следовательно, вариантов погоды может быть очень большим.

В комплексе метеорологических элементов, характеризующих погоду, могут быть элементы, которые по тем или иным соображениям обращают на себя особое внимание. По этим элементам иногда называют погоду данного дня или сезона. Например, бывает погода дождливая, солнечная, ветреная, засушливая, морозная, теплая и т. д.

Многие связывают представление о погоде не столько с физическим состоянием атмосферы, сколько с взаимодействием между атмосферой и живой и неживой природой. Поэтому говорят, например, о хорошей или плохой погоде, смотря по тому, благоприятна она или неблагоприятна для человека. Большие

перепады атмосферного давления, высокая влажность воздуха, сильный ветер плохо действуют на самочувствие больных людей.

Метеорологические элементы изменяются в пространстве и во времени, поэтому погода часто отличается большим разнообразием и изменчивостью. Различают периодические и непериодические изменения погоды.

Периодические изменения погоды — это изменения, обусловленные суточным и годовым ходом метеорологических элементов, т.е. изменения, зависящие от суточного и годового вращения Земли. Суточный и годовой ход важнейших метеорологических характеристик описан в предыдущих главах.

Непериодические изменения погоды связаны с движением 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.

10.2. 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.

Воздушная масса характеризуется вполне определенными физическими свойствами — прозрачностью воздуха, температурой, влагосодержанием 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 поверхности 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.

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 выделяют 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.

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 воздушная масса, переместившись на водную поверхность, постепенно начинает передавать часть своего тепла воде, и, следовательно, температура массы 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 прогревается от земной поверхности. Поэтому в ней обычно возникают

большие вертикальные градиенты температуры и развивается конвекция с кучевыми и кучево-дождевыми облаками и ливневыми осадками. Воздушные массы, перемещающиеся на более холодную подстилающую поверхность, называют *теплыми массами*. Они приносят потепление, но сами охлаждаются снизу, отчего в нижних слоях создаются малые вертикальные градиенты температуры. Конвекция в них не развивается, преобладают слоистые облака и туманы.

10.3. 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 размерами воздушных масс, 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 элементы (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). 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-дож-

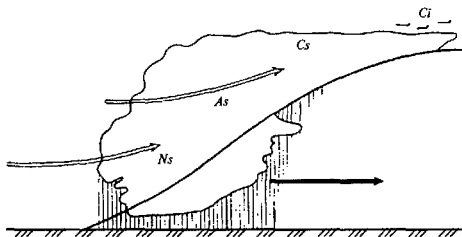


Рис. 10.1. Схема вертикального строения теплого фронта (по С. П. Хромову)

девые облака (Ns), из которых выпадают обложные осадки. При дальнейшем поднятии и охлаждении воздуха образуются облака высокослоистые (As). Из этих облаков осадки (тоже обложные) выпадают, но летом они, как правило, не достигают земной поверхности, испаряясь по пути. В верхнем ярусе при дальнейшем скоплении воздуха образуются перисто-слоистые (Cs) и перистые (Ci) облака. Эти облака осадков не дают. Ширина облачной зоны теплового фронта достигает 600...900 км, зоны осадков — 300...400 км.

При приближении теплового фронта сначала появляются перистые облака, 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 высокослоистыми, а последние — слоисто-дождевыми.

Холодным фронтом называют фронт, перемещающийся в сторону теплого воздуха, вытесняя его. Поверхность раздела между теплым и холодным воздухом у земли в данном случае очень круто опускается вниз (рис. 10.2). Облачная система такого фронта аналогична системе облаков теплового 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 высокослоистые (As) и перисто-слоистые (Cs) облака.

Осадки при прохождении холодного фронта носят вначале ливневый характер, они часто сопровождаются грозами, затем могут перейти в обложные. Ширина зоны осадков вследствие

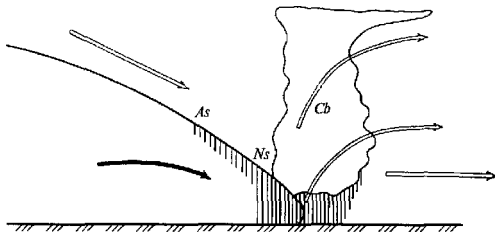


Рис. 10.2. Схема вертикального строения холодного фронта первого рода (по С. П. Хромову)

более крутого наклона фронтальной поверхности меньше, чем у теплого фронта (до 100 км).

Чаще всего приближение холодного фронта сопровождается более или менее сильным 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.

10.4. 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 и образуются облака и осадки. Поэтому погода в центре циклона всегда бывает ненастной.

Циклоны возникают на атмосферных фронтах, при этом в циклон вовлекаются обе воздушные массы, разделяемые фронтами.

Схема строения циклона и распределения погоды в различных частях его показана на рисунке 10.3, 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*.

Приведенная схема наглядно показывает, какие характерные изменения погоды будут совершаться в случае, если циклон при своем перемещении захватывает местность северной или южной частью. Если циклон захватывает местность южной частью (разрез по линии *в-г*), то в этой местности происходят изменения погоды, свойственные изменениям ее при прохождении теплого и холодного фронтов. Сначала через данную местность проходит теплый фронт, затем теплый сектор циклона и, наконец, холодный фронт. Перед прохождением теплого фронта появляются перистые облака (Ci), быстро перемещающиеся с запада, северо-запада или юго-запада. Затем эти облака 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

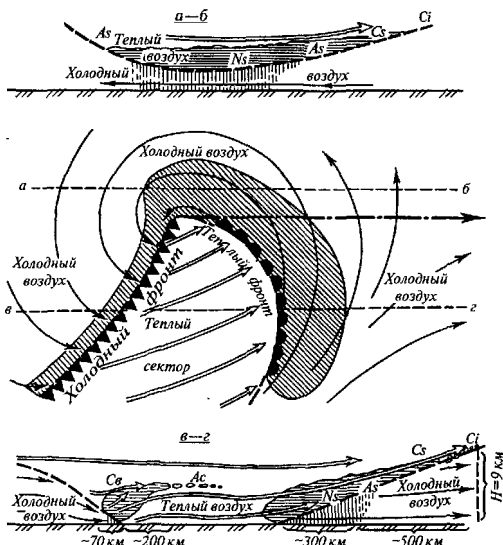


Рис. 10.3. Схема строения циклона (по Л. П. Шубаеву). Заштрихованная часть в центре рисунка (план) — зона выпадения осадков

масса теплого сектора устойчивая, т. е. с небольшими вертикальными градиентами температуры. Поэтому погода в теплом секторе характеризуется слоистыми, высококучевыми облаками, туманами, морозящими 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, чаще всего на северо-западное. Давление перед фронтом понижается, а после прохождения фронта быстро повышается. Температура воздуха после прохождения фронта сильно понижается.

Если центр циклона проходит южнее данного места, т. е. циклон захватывает местность своей северной частью (разрез по линии *а-б*), 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.

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 кверху. 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. На Земле в целом ежегодно регистрируется до 15 000 циклонов.

После прохождения циклона в тыл его внедряются холодные массы воздуха и образуют область повышенного давления — так называемый *антициклон* с высоким давлением в центре и ветрами, направленными в Северном полушарии к периферии по часовой стрелке (см. рис. 9.7).

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.

Различают подвижные и стационарные антициклоны. Первые образуются в Арктике и перемещаются в умеренные широты, принося сюда холодный сухой воздух, вторые — преимущественно над океанами (Азорский, Гоналулский и др.) и зимой в умеренных широтах над материками, удерживаются они в одной и той же области по нескольку недель и даже месяцев. Пример последнего — Сибирский (Азиатский) антициклон, формирующий здесь зимой очень морозную погоду.

На европейской части России погода и ее изменения определяются циклонической деятельностью (чередованием циклонов и антициклонов). Циклоны поступают сюда чаще всего с северной части Атлантического океана через Скандинавию или Прибалтику. Но некоторые циклоны приходят сюда также со Средиземного и Черного морей, антициклоны — чаще с северо-востока и востока.

10.5. 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.), в 1998 г. составили около 90 млрд долл.

Поэтому для различных отраслей хозяйства каждого государства большое значение имеет 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 наблюдения в определенные сроки, зашифровывают их по особому международному коду, 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. 10.4). 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 выяснить не только 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 те изменения погоды, которые произойдут в связи с этими перемещениями и трансформациями. Такой метод предсказания погоды называют *синоптическим*.

Термин «синоптический метод» (от греч. *synoptikys* — способ-

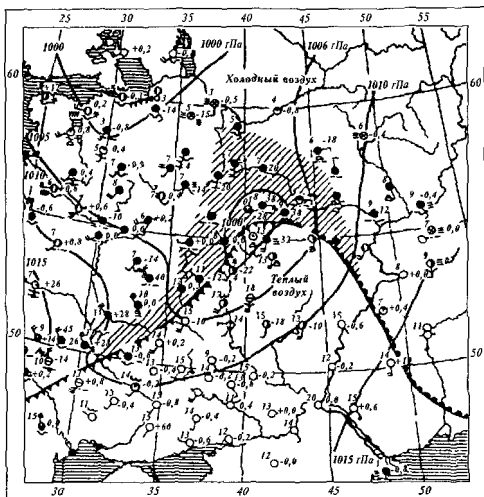


Рис. 10.4. Синоптическая карта (упрощенно)

ный 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 данными аэрологических наблюдений, т. е. наблюдений в свободной атмосфере. 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. 1.3).

По данным со спутников определяют радиационный баланс и его составляющие 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. Возможность создания таких спутников погоды подтверждена запуском в России маневрирующих космических аппаратов «Полет-1» и «Полет-2». 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 элементов в численной форме. Решение сложных уравнений численных прогнозов стало возможным с появлением быстросействующих электронных вычислительных машин.

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 элементы. 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 материале за прошлое время метеорологическую ситуацию в тропосфере, аналогичную существующей (например, подыскивая месяцы, аналогичные истекающему месяцу по среднему распределению давления или по аномалиям температуры и т. д.),

мы можем 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 данным по всем параметрам. А даже небольшие различия в исходном состоянии могут привести к резко отличному ходу событий в будущем.

Существенное значение для решения долгосрочных прогнозов имеет сопоставление атмосферных процессов с процессами в *Мировом океане*, поскольку между двумя этими сферами Земли 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. Информацию о погоде на всем земном шаре собирают за 2...3 ч и передают в мировые метеорологические центры (Австралия, Россия, США). Сюда же поступает информация со спутников, кораблей погоды и т. д.

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, например по уборке сена, когда необходимо точно выбрать способ сушки трав (в поле, в стационарных сушилках или по иной технологии). В период уборки зерновых такие прогнозы помогают правильно распределять уборочную технику и трудовые ресурсы, устанавливать очередность укосов.

По краткосрочным прогнозам уточняют сроки выполнения недельного плана работ, утверждают или изменяют план.

Информация о погоде необходима при отгонном животноводстве для разработки эффективных мер защиты скота от опасных метеорологических явлений.

Возможности применения прогнозов погоды велики и разнообразны, и от самих специалистов сельского хозяйства зависит, насколько правильно и эффективно они будут использованы на практике.

10.6. 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 ветра, температуры и облачности; если вечером или ночью образуется приземный стелющийся туман, который рассеивается с восходом Солнца; если вечерняя заря летом окрашена в золотисто-желтый цвет; если 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; если атмосферное давление падает; если 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.

10.7. 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 многолетний режим погоды. С количественной стороны климат характеризуется средними значениями (нормами), экстремальными значениями метеорологических элементов (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 метеорологических элементов 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 человека.

Основателем климатологии в России был великий русский географ и климатолог А. И. Воейков. В своем классическом труде «Климаты земного шара, в особенности России» А. И. Воейков 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*. Под их совместным влиянием формируется климат в различных местах земного шара. 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 большого наклона солнечных лучей. Например, суммарная радиация за Полярным кругом достигает всего 2300...2500 МДж/м² в год, тогда как в тропиках она колеблется от 5850 до 9200 МДж/м².

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°C , во Владивостоке около $-13,5^{\circ}\text{C}$, т. е. на $18,5^{\circ}\text{C}$ ниже. Такое различие объясняется особенностями циркуляции воздуха 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 — Северо-Восточной Сибири.

Большое значение в формировании климата имеет подстилающая поверхность: вода — суша, так как от этого зависят физические свойства располагающихся над ней воздушных масс. Также различным будет влияние на климат гор и равнин, обнаженной поверхности и поверхности, покрытой растительностью, и т. д.

Особенно велико различие в воздействии на климат со стороны моря и суши. Вода обладает большой теплоемкостью и хорошей теплопроводностью, и 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.

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°C . На берегах, омываемых теплым течением, выпадает повышенное количество осадков, причем осадки часто сопровождаются грозами и бурями.

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. Горы нередко служат преградой для воздушных масс, являясь границей, разделяющей области с различными климатическими условиями. 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°C .

Лесная растительность воздействует на климат прилегающей территории. Если мы говорим, что климат влияет на растительность, определяя ее ареалы, то, в свою очередь, растительный мир сильно влияет на климат, в частности на влагооборот.

Климатические факторы действуют совместно, взаимно обуславливая друг друга. Так, атмосферная циркуляция, обусловленная в основном радиационными факторами, сама воздействует на них в результате появления облачности в процессе переноса воздушных масс и влагооборота.

Климатические условия местности могут изменяться и под влиянием хозяйственной деятельности человека, поскольку она может изменить 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.

10.8. 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 в высокогорных районах (выше снеговой линии), где средняя температура июля около 0°C , а осадков выпадает менее 200 мм в год.

Зона климата тундры занимает Крайний Север России, но на крайнем северо-востоке ее южная граница отодвинута на юг почти до 60° с.ш. (рис. 10.5). За южную границу тундры принимают северный предел распространения леса, совпадающий с изотермой $10...12^{\circ}\text{C}$ самого теплого летнего месяца. Летом здесь бывает непродолжительный безморозный период, поэтому растительность в тундре скудная (карликовые ивы и березы, мелкие кустарники, на южных склонах трава). Климат тундры суровый, зима продолжительная. В сибирской тундре средние температуры зимой составляют $-25...-35^{\circ}\text{C}$. Лето короткое, прохладное,

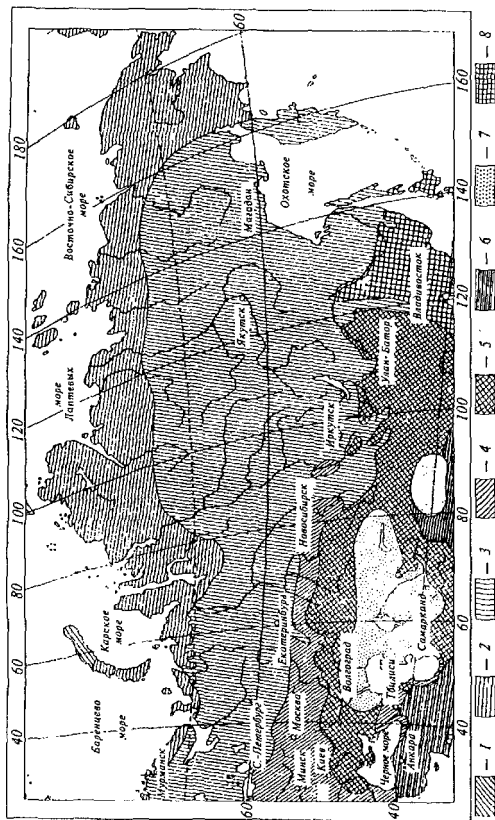


Рис. 10.5. Ландшафтно-климатические зоны России и соседних государств (по Л.С.Бергу):

климаты: 1 — вечного мороза; 2 — тундры; 3 — тайги; 4 — лесов умеренного пояса; 5 — степей; 6 — средиземноморские; 7 — пустынь умеренных широт; 8 — пустынь тропических.

средняя температура не выше 10...12 °С. Снег и заморозки могут быть в течение всего лета.

Вегетационный период в тундре длится 2...3 мес. За это время растения получают достаточно света и влаги, но испытывают недостаток в тепле, что замедляет их рост.

Зона климата тайги занимает наибольшую 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 Восточной Сибири наблюдаются даже летом, но средняя температура воздуха летом в Сибири выше, чем на этих же широтах в европейской части. Средняя температура июля преимущественно 14...18 °С. Осень в западных районах продолжительная, в восточных — короткая, с быстрым наступлением холодов. Годовая сумма осадков по зоне 350...600 мм.

Зона климата лиственных лесов простирается от западных границ России до р. Оби 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. Средняя температура июля 17...20 °С. Разность средней месячной температуры воздуха января и июля в Москве 28 °С, в Новосибирске 38 °С. Рост амплитуды годового хода температуры воздуха характеризует увеличение континентальности климата с запада на восток. В этом же направлении отмечается 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 в пределах 200...1000 мм.

Дальневосточная область получает меньше тепла, чем следовало бы по географическому положению. Причины этого заключаются, во-первых, в сравнительно холодных восточных морях, отнимающих летом много тепла, во-вторых, во влиянии огромного азиатского материка с его суровыми зимами, в-третьих, в

действии летних ветров с морей, обуславливающих большую облачность.

Зона климата степей охватывает Нижнее и Среднее Поволжье, Северный Кавказ, Южный Урал, южные районы Западной Сибири и южные районы Восточной Сибири. В этой зоне годовая сумма осадков (450...250 мм) меньше годовой суммы испаряемости, часто наблюдаются засухи и суховеи, нередко бывают пыльные бури. Средняя температура июля 20...25 °С. Зима мало-снежная, в восточных районах суровая (средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха —35...—45 °С). В южных степях годовая сумма осадков не более 350 мм.

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...800 мм.

10.9. 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 всей 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, распределение океанических течений, вулканическая деятельность, 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 Антарктиде. 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 отло-

жения, 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, годовичные 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. началось, по мнению большинства ученых, потепление.

Пока нет единой теории, объясняющей колебания климата. Есть лишь различные гипотезы, которые можно разделить на три группы.

1. Астрономические гипотезы связывают изменения климата с периодическими колебаниями элементов земной орбиты, благодаря чему должно меняться общее количество тепла, приходящего к Земле от Солнца, с колебаниями наклона оси вращения Земли и с изменением скорости вращения Земли вокруг своей оси.

2. Физические гипотезы объясняют колебания климата изменением интенсивности солнечной радиации, так как Солнце, по мнению ряда ученых, — переменная звезда. И «солнечная постоянная» (S_0) испытывает периодические и существенные колебания ($\pm 20\%$). Предполагается также, что Земля в разные периоды своей жизни проходит через области мирового пространства с различным содержанием межзвездного вещества, которое, по-разному поглощая солнечную энергию, опять-таки меняет количество поступающей на Землю солнечной радиации и ее спектральный состав.

3. Геолого-географические гипотезы увязывают изменения климата с перемещением материков, изменением очертаний океанов, их глубин, с переменной в направлении и мощности

океанических течений, что неизбежно сопровождается существенными изменениями циркуляции атмо- и гидросферы. Примером тому может служить такое явление, как Эль-Ниньо, что в переводе с испанского означает «новогодний мальчик» или «младенец». Его впервые заметили перуанские рыбаки 200 лет тому назад, а в последние годы изучают ученые многих стран.

Оно связано с формированием больших участков теплой воды в экваториальной части Тихого океана, а также подъемом глубинных, холодных вод у Западного побережья Южной Америки. Это явление резко изменяет 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. Последний сильный и продолжительный период Эль-Ниньо зафиксирован в 1982–1983 гг., а начало нового — в 1998 г.

Поскольку естественные изменения климата происходят медленно, с временными масштабами в тысячи и даже миллионы лет, то для ближайшего столетия большое значение имеют современные изменения климата под влиянием антропогенных факторов, т. е. деятельности человека.

Уже древние земледельцы, сводя леса и распахивая землю, изменяли температуру и влажность воздуха, влагосодержание почвы, а следовательно, испарение. Современное полесоразведение уменьшает скорость ветра, задерживает снег и тем самым повышает влажность воздуха и почвы. При осушении болот уменьшается влажность и повышается температура. Водохранилища, наоборот, увеличивают влажность почвы и воздуха. В этом же направлении действует искусственное орошение. А все это влияет на тепло- и влагообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой, а значит, и на циркуляцию атмосферы.

В густонаселенных районах Земли в результате все возрастающего количества сжигаемого топлива содержание углекислого газа в воздухе повысилось на 10...15 % и, по данным М. И. Будыко, продолжает повышаться на 0,2 % в год (от его общего количества). Это вследствие оранжерейного эффекта привело к повышению глобальной температуры воздуха за последнее столетие примерно на 0,6 °С, и тенденция к ее повышению сохраняется.

По оценкам М. И. Будыко (1992), развитие потепления в первой четверти XXI в. более заметно проявится в высоких широтах, чем в низких, причем в холодное время будет более выражено, чем в теплое; количество осадков в умеренных широтах также возрастет.

В результате потепления следует ожидать таяния ледников и, как следствие этого, повышения общего уровня Мирового океа-

на. По подсчетам американских ученых, уже в ближайшие 25 лет его уровень поднимется почти на 10 см в районе Североамериканского континента.

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.

Глава 11

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТА

●

Климат определяет географическое распространение и успешность возделывания всех сельскохозяйственных культур, условия выпаса и содержания животных. Для того 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.

11.1. МЕТОДИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛИМАТА

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. Ацци, Е. Никольс и др. В основу методики сельскохозяйственной оценки климата положены законы биологических наук (см. введение).

Газовый состав воздуха одинаков во всех климатических зонах. Световой режим в условиях оптимальной густоты стояния растений обычно не лимитирует их рост и развитие (за исключением полярных районов в период прохождения растениями све-

товой стадии развития). Продуктивность растений в основном определяется количеством тепла и влаги. 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, предъявляемые биологическими объектами к климату, а именно: их критические и оптимальные температуры, суммы температур, необходимые 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 изменения агрометеорологических факторов в благоприятную для сельскохозяйственных объектов сторону.

При сельскохозяйственной оценке климата учитываются не только средние многолетние значения (нормы), но и повторяемости и обеспеченности основных факторов климата и опасных для сельского хозяйства метеорологических явлений.

11.2. ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ РЕСУРСОВ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Под *термическими ресурсами* в климатологии понимают то количество тепла, которым располагает территория, где произрастают сельскохозяйственные культуры. Термические ресурсы вегетационного периода чаще всего оцениваются предложенной Г. Т. Селяниновым суммой активных температур воздуха выше 10°C (иногда выше 5°C 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 таблице 11.1. С изменением ши-

11.1. Потребность сельскохозяйственных культур в тепле для достижения технической спелости ($\phi = 55^\circ \text{с.ш.}$)

Культура	Температура, $^\circ\text{C}$		Биологическая сумма температур, $^\circ\text{C}$	Поправка на 1° 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
Конопля	3	—	1830...2620	9

Примечание. Меньшее значение биологической суммы соответствует потребности в тепле раннеспелых сортов, большее — позднеспелых.

Потребность культур в тепле изменяется в среднем на $10...30^\circ\text{C}$ 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°C . Поправка на 1° широты равна -20°C . Следовательно, для 59°с.ш. биологическая сумма будет на 80°C меньше, т. е. 1320°C . Если это растение произрастает южнее 55°с.ш. , то знак поправки следует изменить на противоположный.

Для растений короткого дня поправка имеет положительный знак. С продвижением данной культуры к северу от 55°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°C .

Для территории Восточной Сибири вводят еще поправку на континентальность климата, которая в среднем равна -100°C .

Поскольку ресурсы тепла определяются климатическими суммами активных температур выше 10°C , а потребность в теп-

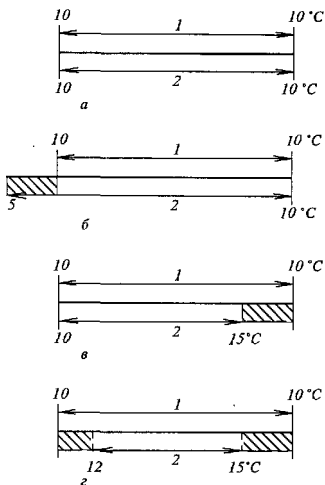


Рис. 11.1. Возможные варианты при определении климатической поправки к суммам биологических температур:

1 — климатическая сумма; 2 — биологическая сумма

ле 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 (см. рис. 11.1, а) климатическая поправка равна 0°C , так как температура начала роста (биологический ноль) и созревания равна 10°C , и, следовательно, биологическая сумма совпадает с

климатической суммой активных температур.

Во втором случае (см. рис. 11.1, б) биологическая сумма больше климатической. Это увеличение обусловлено тем, что температура начала роста составляет 5°C и, следовательно, для приведения необходимо сумму температур, накопившуюся весной за период между датами перехода средней суточной температуры через 5 и 10°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°C . Поэтому необходимо определить число дней за период от даты перехода через 15°C до даты перехода через 10°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°C и биологические суммы температур, уточненные поправкой на широту и на биологический минимум температуры, можно определить обеспеченность растений теплом.

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 обеспеченности термических ресурсов, полученных Ф. Ф. Давитая (рис. 11.2). Например, потребность в тепле позднеспелых сортов яровой пшеницы с учетом всех поправок составляет 1600°C , а ресурсы — 1700°C . Как часто эта культура будет созревать в данном районе? Чтобы ответить на поставленный вопрос, следует найти разность между потребностью и ресурсами: $1600 - 1700 = -100^{\circ}\text{C}$. Затем с помощью графика определяют, как часто в данном районе сумма активных температур бывает меньше многолетней на 100°C . Находят на оси абсцисс значение -100°C , из найденной точки восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой, а затем из этой точки проводят перпендикуляр на ось ординат и получают обеспеченность. В нашем примере это будет 65 % (кривая 1), т. е. яровая пшеница в данном районе будет созревать примерно 7 лет из 10. Возделывание культуры считают рентабельным, если она обеспечена теплом не менее чем на 80 %, т. е. 8 раз в 10 лет.

Сумма температур, подсчитанная в целом за вегетационный

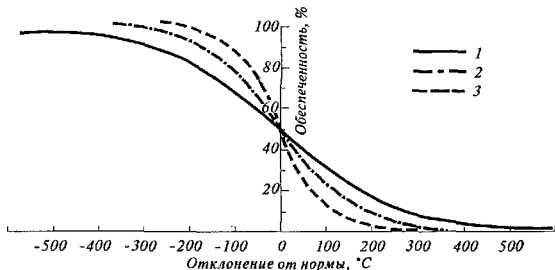


Рис. 11.2. Кривые обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше 10°C для различных типов климата:

1 — неустойчивого (европейская часть России, Западная Сибирь); 2 — устойчивого (центральная часть Сибири); 3 — особо устойчивого (Восточная Сибирь, Дальний Восток)

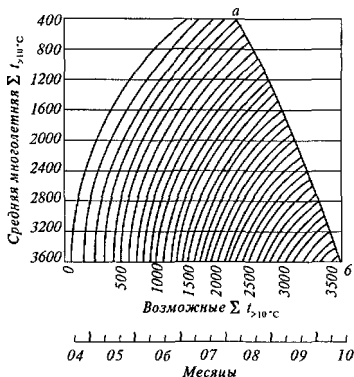


Рис. 11.3. Номограмма для определения сроков накопления сумм температур выше 10°C в зависимости от средних многолетних сумм (по Ф. Ф. Давитая)

период, не дает представления о динамике накопления сумм температур в течение периода, тогда как для решения ряда задач необходимо знать, к какому сроку может накопиться необходимая сумма температур. Для этого Ф. Ф. Давитая предложил номограмму (рис. 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°C , по оси ординат — средние многолетние суммы температур за вегетационный период. На номограмме первая кривая, соответствующая сумме температур 0°C , указывает на начало периода с температурой выше 10°C , а замыкающая кривая (а-б) — на конец этого периода.

Например, для наступления восковой спелости позднеспелого сорта проса требуется сумма активных температур 1900°C . В Мичуринске (Тамбовская обл.) средняя многолетняя сумма температур выше 10°C равна 2460°C . Для определения даты созревания проса на оси ординат находим среднюю многолетнюю сумму 2460°C , от которой проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой суммы температур 1900°C . Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось абсцисс и определяем дату наступления фазы восковой спелости проса — 15.08.

При оценке термических условий территории необходимо также учитывать такие показатели, как средняя температура самого теплого месяца, продолжительность беззаморозкового периода, сроки наступления весенних и осенних заморозков, их повторяемость и интенсивность.

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. 2.4).

11.3. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Для оценки условий увлажнения территории используют среднюю многолетнюю сумму осадков и распределение их во времени.

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 представляют в виде интегральных кривых (рис. 11.4). В этом случае можно определить даты, на которые накопится сумма осадков, например равная 100, 150 мм и т. д.

Среднее многолетнее количество осадков дает представление

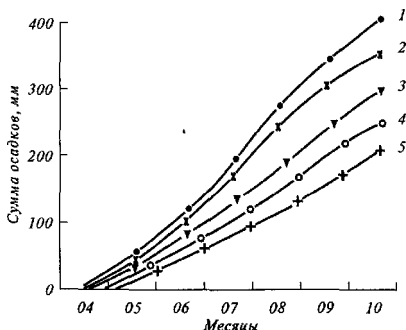


Рис. 11.4. Суммы осадков нарастающим итогом за теплый период по метеостанциям Центрально-Черноземного района:

1 — Мичуринск; 2 — Белозерск; 3 — Нижняя Пеша; 4 — Оксино; 5 — Шойна

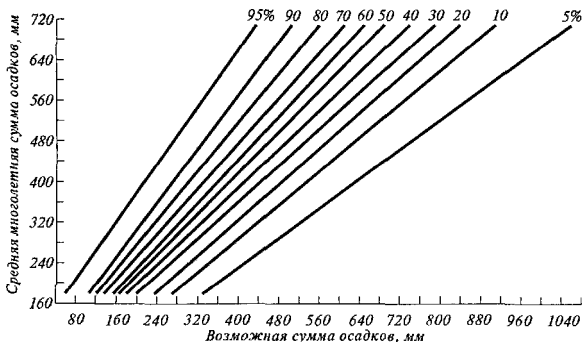


Рис. 11.5. График для расчета годовых сумм осадков различной обеспеченности (по А. Н. Лебедеву)

о 50%-й обеспеченности территории осадками. В действительности их выпадает ежегодно больше или меньше этого количества. Поэтому для правильного суждения об увлажнении необходим расчет осадков различной обеспеченности. Для этого можно воспользоваться графиком А. Н. Лебедева (рис. 11.5). 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.

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 севе-

ре 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, 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:

$$\text{ГТК} = r / (0,1 \cdot \sum t_{>10^{\circ}\text{C}}), \quad (11.1)$$

где r — сумма осадков за период активной вегетации, мм; $\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$ — сумма активных температур за тот же период, $^{\circ}\text{C}$;

$$\text{КУ} = r / \sum d, \quad (11.2)$$

где r — годовая сумма осадков, мм; $\sum d$ — 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 таблице 11.2.

11.2. Оценка условий увлажнения по значениям ГТ 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, которые при неодинаковом годовом ходе могут существенно различаться при одном и том же значении

ГТК за вегетацию. Показатель увлажнения Шашко также 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

$$K_{\text{ч}} = \frac{0,5\eta_{10...03} + r_{04...08}}{0,18 \sum t_{04...08}}, \quad (11.3)$$

где $\eta_{10...03}$ и $r_{04...08}$ — сумма осадков соответственно за октябрь—март и апрель—август, мм; $\sum t_{04...08}$ — сумма среднесуточных температур воздуха за апрель—август, °С.

Для оценки влагообеспеченности сахарной свеклы, подсолнечника Л. С. Кельчевская и Ю. С. Мельник разработали следующую формулу:

$$K_{\text{к}} = \frac{0,36\eta_1 + r_2}{0,1 \sum t_{>10^{\circ}\text{C}}}, \quad (11.4)$$

где η_1 — сумма осадков вневегетационного периода, мм; r_2 — сумма осадков за период вегетации данной культуры, мм; $\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$ — сумма среднесуточных температур за период активной вегетации, °С.

В практике сельского хозяйства при расчете некоторых показателей влагообеспеченности учитывают и запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см. А. М. Алпатьев предложил коэффициент влагообеспеченности определять по эмпирической формуле

$$K_{\text{А}} = \frac{W_1 - W_2 + r}{0,65 \sum d}, \quad (11.5)$$

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; $\sum d$ — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за период вегетации, мм.

Оценить влагообеспеченность сельскохозяйственных культур можно по одним запасам продуктивной влаги в почве, которые являются более точным комплексным показателем увлажнения полей, чем суммы осадков. Сотрудниками Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии составлен Атлас запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на европейской части России. В Гидрометцентре составлены карты средних многолетних запасов продуктивной влаги в пахотном слое (0...20 см) и в слое почвы

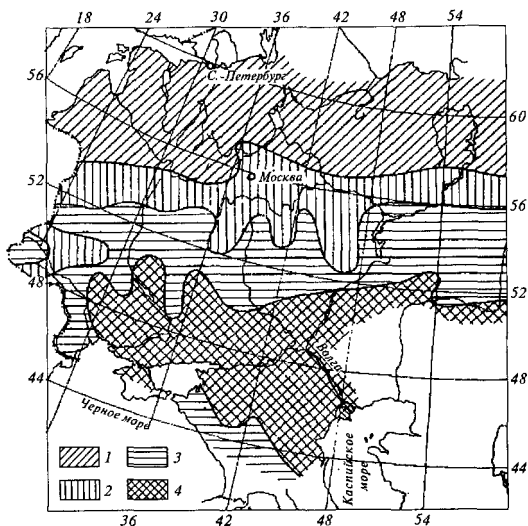


Рис. 11.6. Средние многолетние запасы продуктивной влаги под озимыми при посеве по непаровым предшественникам в слое почвы 0...100 см в декаду средних оптимальных сроков сева:

Запасы влаги, мм: 1 — более 160; 2 — 121...160; 3 — 81...120; 4 — менее 80

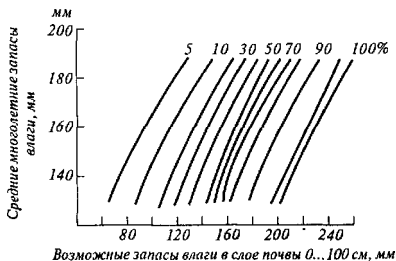


Рис. 11.7. Номограмма для расчета запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см различной обеспеченности

0...100 см в период возобновления вегетации озимых (рис. 11.6). При этом необходимо также учитывать вероятность распределения запасов продуктивной влаги в отдельные годы (рис. 11.7).

Наиболее объективным критерием влагообеспеченности растений является сравнение фактических запасов влаги W с наименьшей влагоемкостью $W_{нв}$. По значению отношения $(W/W_{нв}) \cdot 100\%$ судят об оптимальности запасов влаги в почве (см. разд. 8.2). В Нечерноземной и Черноземной зонах европейской части России средние запасы влаги за вегетационный период, равные 80...100 % НВ, считают оптимальными. Можно также сопоставить фактические влагозапасы с потребностью растений во влаге (см. разд. 8.5).

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 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°C . Как часто здесь минимальная температура опускается до -28°C и -32°C ? Находим отклонение этих температур от нормы. Соответственно они будут составлять 2 и -2°C . Согласно рисунку 11.8 такие отклонения имеют повторяемость соответственно 75 и 20 %. И если -28°C и -32°C — это критические температуры каких-либо культур, например кроны сливы и яблони, то в Ленин-

градской 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 критичес-

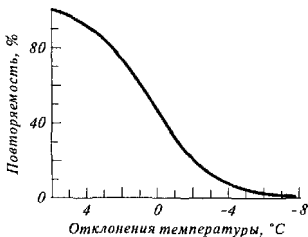


Рис. 11.8. Повторяемость отклонений годовых минимумов температуры от среднего из абсолютных годовых минимумов

кую температуру сопоставляют со средним из абсолютных годовых минимумов на глубине узла кущения (корневой шейки).

Для общей характеристики условий перезимовки растений также используют различные классификации зим на основе температурного режима (табл. 11.3).

11.3. Оценка степени суровости зимы

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	—

Общую комплексную характеристику зимнего периода можно получить, используя формулу А. М. Шульгина:

$$K_{Ш} = t_m / h, \quad (11.6)$$

где t_m — средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за самый холодный месяц, °С; h — средняя высота снежного покрова за этот же период, см.

По абсолютному значению $K_{Ш}$ оценивают степень суровости зимы. Если $K_{Ш} > 3$, то зима весьма суровая, при $K_{Ш} = 1...3$ — суровая, при $K_{Ш} < 1$ — мягкая (несуровая).

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 приростной к почве ледяной корки и продолжительности ее залегания.

Для оценки условий перезимовки озимых культур В. А. Моисейчик рекомендует комплексный показатель K_M , в котором учитывают географическое распределение посевов по территории России. Например, для степной зоны

$$\bar{K}_M = 0,4844 \frac{\bar{t}_{\min}}{t_{кр}} + 1,3081 \frac{\bar{H}}{n} - 0,6071, \quad (11.7)$$

где осредненные по области средние многолетние значения: $\bar{t}_{\min}$ — минимальная температура воздуха, °С; $t_{кр}$ — критическая температура озимых культур, °С; $\bar{H}$ — максимальная глубина промерзания почвы, см; n — продолжительность периода со снежным покровом, сут.

При $\bar{K}_m < 1$ озимые погибли 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 (1972) предложен коэффициент суровости зимы:

$$K_B = P/n, \quad (11.8)$$

где P — число дней с минимальной температурой воздуха, вызывающей повреждение 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.

Автором установлено, что осенне-зимние и зимние сорта яблони в большинстве случаев хорошо переносят зимы при $K_B < 0,07$ — слабоморозостойкие сорта; $K_B < 0,05$ — среднеморозостойкие и $K_B < 0,03$ — сорта повышенной морозостойкости.

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, во 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 большое число «микроклиматических» зон, существенно различающихся между собой по радиационному, тепловому и водному балансам и их составляющим, т. е. по климатическому потенциалу, а следовательно, и по условиям произрастания сельскохозяйственных культур. Поэтому при сельскохозяйственной оценке климата необходимо учитывать эти микроклиматические различия, или микроклимат.

Микроклимат — это климат небольшой территории или ее части, формирующийся под воздействием различия рельефа, растительности, состояния почвы, наличия водоемов, застройки и других особенностей подстилающей поверхности; это климат поля, склона холма, опушки леса, осушенного болота, берега озера и т. п.

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 и микроклиматическая изменчивость метеорологических элементов приведены в таблице 11.4.

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.

11.4. Климатические широтные градиенты и микроклиматическая изменчивость метеорологических элементов (по Е. Н. Романовой, Г. Н. Мосоловой, И. А. Бересневой, 1983)

Метеорологические элементы	Климатические градиенты, на 1° широты	Микроклиматическая изменчивость при переходе с северного склона на южный (крутизна склонов 10°)
S , МДж/(м ² ·мес)	8,4 ... 12,6	46,1 ... 155,0
B , МДж/(м ² ·мес)	4,2 ... 8,4	41,1 ... 134,1
$Q_{\text{ФАР}}$, МДж/(м ² ·мес)	2,1 ... 5,0	29,3 ... 75,4
t , °С	0,6 ... 0,8	5 ... 7
t_{max} , °С	0,6 ... 0,8	9 ... 10
t_{min} , °С	0,7 ... 0,9	5 ... 9
t_{20} , °С	0,6 ... 0,8	2 ... 4
$t_{6.л}$, сут	3 ... 5	20 ... 30

П р и м е ч а н и е. S — прямая радиация; B — радиационный баланс; $Q_{\text{ФАР}}$ — суммарная фотосинтетически активная радиация; t , t_{max} , t_{min} — соответственно среднесуточная, средние максимальная и минимальная температуры воздуха; t_{20} — температура почвы на глубине 20 см; $t_{6.л}$ — продолжительность безморозного периода.

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° 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 сравнению с открытым ровным местом (по И. А. Гольцберг, 1961) приведено ниже.

Форма рельефа	$\Delta \Sigma t_{6.л}$, °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°)	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 $\pm 100 \dots 300$ °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. 12.5).

Отмечают различия и в термическом режиме почвы даже в одинаковых условиях рельефа под влиянием ее неоднородности (табл. 11.5).

11.5. Изменение термического режима почвы на глубине 20 см под влиянием ее гранулометрической неоднородности (по Е. Н. Романовой, Г. И. Мосоловой, И. А. Бересневой, 1983)

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

П р и м е ч а н и е. 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. 11.6).

11.6. Средние многолетние запасы продуктивной влаги в слое 0...50 см среднесуглинистых почв в различных местоположениях для условий Ленинградской области (по Е. Н. Романовой, Г. И. Мосоловой, И. А. Бересневой, 1983), мм

Местоположение	Теплый период	Весна	Лето	Осень
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

Из данных таблицы 11.6 следует, что в верхних частях склонов отмечается недостаток влаги, особенно в летний период, а в нижних — избыток ее.

Учитывая различия в температурном режиме и во влагозапасах, можно говорить о том, что в почве тоже отмечаются микроклиматические различия. Это влияет на сроки посева почвы, скорость прорастания семян, рост корневой системы и надземной массы растений, продуктивность растений, а в зимний период от климата почвы в значительной мере зависит перезимовка растений.

В практике сельского хозяйства сроки весенних полевых работ устанавливаются, как правило, с учетом температуры воздуха, тогда как отдельные участки в зависимости от типа почвы и ее состояния имеют различный температурный режим, что нельзя выявить по температуре воздуха. Весной тяжелые почвы, содержащие много влаги, просыхают медленно, поэтому прогревание их до 5°C на глубине 20 см происходит на 10...15 сут позже по сравнению с воздухом. Легкие же почвы прогреваются до 5°C на 7...10 сут раньше, чем воздух. Такие различия можно наблюдать даже в пределах одного хозяйства.

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. 11.7).

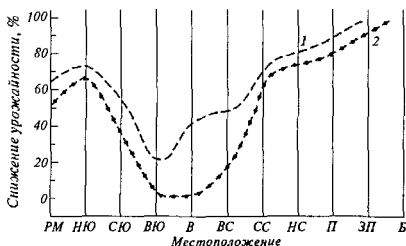


Рис. 11.9. Снижение урожайности огурцов (1) и томатов (2) в зависимости от теплообеспеченности различных местоположений в центральной части Нечерноземья (по Е. Н. Романовой, Г. И. Мосоловой, И. А. Берсневой, 1983):

Местоположения: РМ — ровные участки; НЮ, СЮ, ВЮ — нижняя, средняя, верхняя части склонов южной экспозиции; В — вершины; НС, СС, ВС — нижняя, средняя, верхняя части склонов северной экспозиции; П, ЗП, Б — подножья склонов, замкнутые понижения, болота

Из рисунка видно, что в зависимости от теплообеспеченности различных местоположений колебания урожайности существенны для обеих культур. На сельскохозяйственных полях, расположенных в наиболее холодных местах (замкнутые понижения, осушенные болота), урожайность может снизиться на 100 %, а на наиболее теплых участках (возвышенности и верхние части южных склонов) возможен полный сбор (снижение урожая составляет 0 %).

11.7. Влияние местоположения на урожайность озимой пшеницы и сахарной свеклы по агроклиматическим районам Нечерноземья (по Е. Н. Романовой, Г. И. Мосоловой, И. А. Берсневой, 1983)

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

Из таблицы следует, что изменения урожайности в зависимости от местоположения значительны: в наименее обеспеченном теплом II районе это изменение достигает 200 %.

Если принять во внимание еще и микроклиматические различия поспевания почвы (см. табл. 11.5), то зависимость урожайности от особенностей микроклимата будет еще больше. По данным А. П. Федосеева (1978), 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.

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.



Рис. 11.10. Расположение метеорологических приборов в саду (опорная точка измерений)

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 (1979).

На основании глазомерной съемки выбирают опорные точки измерений (рис. 11.10) и маршруты наблюдений с таким расчетом, чтобы отразить все микроклиматические особенности исследуемой территории. Микроклиматическая маршрутная съемка заключается в том, что наблюдатель с комплектом необходимых приборов обходит последовательно ряд точек и делает соответствующие измерения на определенной высоте (или на нескольких, если проводят градиентные наблюдения).

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.

Для того 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, О. А. Дроздов «Основы климатической обработки метеорологических наблюдений», 1956).

По результатам микроклиматических наблюдений составляют комплексную микроклиматическую карту, пример которой приведен на рисунке 11.11.

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



Рис. 11.11. 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

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 инея не будет даже в том случае, если поле расположено в понижении и, по существу, заморозкоопасно. Больше всего инея 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.

Для целей микроклиматологии используют аэрофотографическую и спутниковую информации.

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.

Фитотроны используют и при разработке методов борьбы с вредителями и болезнями растений.

В фитотронах можно получать несколько урожаев за один год, что ускоряет селекционный процесс.

Пути и методы мелиорации микроклимата сельскохозяйственных угодий. Целью мелиорации (улучшения) микроклимата сельскохозяйственных полей, естественных низкопродуктивных пастбищных фитоценозов является смягчение неблагоприятных условий с помощью различных агротехнических приемов. Разнообразие этих приемов связано с учетом широкого диапазона экологических условий в районах, где преобразуется микроклимат. Географическое положение района, общие климатические условия, рельеф местности, климат почвы — главные составляющие для анализа при выборе способов и методов улучшения микроклимата поля или угодья.

В северных и северо-западных районах земледелия к основ-

ным способам по улучшению микроклимата относятся приемы, устраняющие переувлажнение почвы и повышающие теплообеспеченность растений (осушение полей, создание гребневой поверхности почвы и др.). 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 высокорослых 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 — введены в строй десятки крупных водохранилищ, построены современные, технически оснащенные оросительные каналы. Однако при орошении неизбежны непроизводительные потери влаги на фильтрацию в глубокие горизонты почвы, поверхностный сток, испарение с открытой водной поверхности. Поэтому в последние годы применяют новый способ — капельное орошение, с помощью которого подача воды (по специальным трубкам) регулируется с учетом агрогидрологических свойств почвы и требований к условиям влагообеспеченности выращиваемой культуры. Этот способ позволяет на 30 % по сравнению с традиционными методами орошения снизить расходы дорогостоящей воды.

Полезастное лесоразведение, включая посадки древесно-кустарниковых форм в пустынных и полупустынных районах, а также лесомелиоративные мероприятия на сильно эродированных и засушливых горных склонах оказывают существенное средообразующее влияние, способствуя повышению продуктивности сельскохозяйственных культур и фитоценозов.

Более подробно эти методы и результаты их применения изложены в главах, где рассмотрены метеорологические элементы: лучистая энергия, температура почвы и воздуха, осадки и т. д.

Важным звеном агропромышленного комплекса является *защищенный грунт*, под которым понимают участки земли, где создан более благоприятный микроклимат. Основные задачи защищенного грунта: производство внесезонной (главным образом овощной) продукции; выращивание рассады для открытого грунта; расширение ассортимента культур, особенно в умеренных и высоких широтах.

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.

Изучение климата и микроклимата позволяет обосновать идею об организации природного конвейера — почти круглогодичного производства и снабжения населения свежими овощами и фруктами. 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.

Глава 12

НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Одна из задач сельскохозяйственной оценки климата, как отмечалось в главе 11, — учет всех неблагоприятных метеорологических явлений, возможных в данном районе.

Неблагоприятные для сельского хозяйства явления погоды — это понятия биоклиматические, так как их рассматривают по реакции растений на погоду и характеризуют сопряженными агрометеорологическими и биологическими показателями.

Метеорологическое явление считается опасным, если при его образовании необходимо принимать специальные меры для предотвращения ущерба в определенной отрасли народного хозяйства. К агрометеорологическим 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.

Последний вывод очень существен, он заставляет более серьезно относиться к неблагоприятным явлениям погоды и мерам борьбы с ними в условиях нерегулируемого климата.

ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА

12.1. ЗАСУХИ И СУХОВЕИ

Около 70 % посевных площадей зерновых культур в России расположено в районах недостаточного и неустойчивого увлажнения, в которых засухи, суховеи и пыльные бури различной интенсивности и продолжительности наблюдаются почти ежегодно, охватывая значительные территории.

Засуха — это агрометеорологическое явление, вызывающее резкое несоответствие между потребностью растений во влаге и ее поступлением из почвы в результате недостаточного количества осадков и повышенной испаряемости, 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 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. Резкое снижение фотосинтетической деятельности подавляет ростовые функции, нарушает процессы органогенеза, уменьшает, например, число колосков, увеличивает число бесплодных цветков. В итоге эти явления снижают продуктивность растений.

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. 10.4). 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 по-

чвенную засуху, характеризующуюся недостатком физиологической 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.

По данным А. В. Процорова, 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. По данным Е. С. Улановой, к наиболее сильным засухам, которые охватывали огромную территорию (от 7 до 10 основных зерновых районов европейской части России и Сибири), относятся засухи следующих лет: 1946, 1954, 1955, 1963, 1965, 1972, 1975, 1979, 1981, 1984. Нередки засухи, которые охватывают 5...6 основных зерновых районов и значительно снижают валовой сбор зерновых культур в целом по стране. К таким

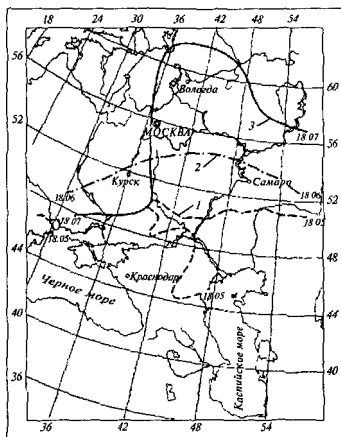


Рис. 12.1. Границы распространения засухи в 1972 г.:

1 — на 18.05; 2 — на 18.06; 3 — на 18.07

засухам можно отнести засухи 1948, 1949, 1957, 1967, 1982, 1985 гг.

Далее следуют локальные засухи, которые снижают урожай зерновых культур в отдельных районах, существенно не влияя на общий валовой сбор зерна по территории, например сильная засуха 1969 г. на Северном Кавказе или засуха 1974 г. в Западной Сибири.

На европейской части России продолжительная, очень интенсивная засуха была в 1972 г. — одна из жесточайших засух за последние 100 лет (рис. 12.1). Она характеризовалась необычно длительным периодом высоких температур (30...35 °C), продолжительными периодами без дождей, большой сухостью воздуха, сильными перегревами почвы и необычайно широким распространением по территории. Засуха 1972 г. обусловила возникновение массовых лесных пожаров и возгорание торфяников в Архангельской области, Центральном районе, Ленинградской, Псковской, Новгородской областях, в Среднем Поволжье.

Экспериментальные наблюдения, проведенные в плодовом

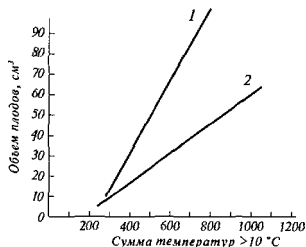


Рис. 12.2. Зависимость объема плодов Антоновки обыкновенной от суммы эффективных температур выше 10 °C (по А. П. Посеву):

1 — 1969...1971 гг.; 2 — 1972 г.

саду Мичуринска, показали, что в засушливый и жаркий летний период 1972 г. нарушился обычный рост плодов яблони. Объем плодов оказался значительно меньше, чем в предшествующие три года (рис. 12.2).

Агрометеорологические показатели засух и суховеев. Для сравнения интенсивности засух и суховеев в различных районах и в разные годы в целях разработки мер борьбы с этими явлениями 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 специальному гидротермическому показателю

$$K_H = \Sigma(td), \quad (12.1)$$

где t — температура воздуха в 13 ч, °C; 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 °C · гПа.

Для определения начала засухи Н. В. Бова разработал показатель засушливости

$$K_B = 10(W_{\text{пр}} + r)/\Sigma t, \quad (12.2)$$

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; Σt — сумма температур от даты перехода температуры воздуха через 0 °C весной до наступления засухи, °C.

Началом засухи принято считать период, когда K_B уменьшается до 1,5 мм/°C. При этом значении K_B 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 не-

достаткам этой формулы следует отнести то, что она не учитывает степени увлажнения пахотного горизонта.

Характеристикой засух для юго-восточных районов европейской части России (ЕЧР) может служить гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (табл. 12.1).

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 служить 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

$$K_y = \frac{W_{\text{пр}} + r_{05...06}}{0,01 \sum t_{05...06}}, \quad (12.3)$$

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; $\sum t_{05...06}$ — сумма средних суточных температур воздуха за май—июнь, °С.

Коэффициенты увлажнения, соответствующие различной степени засухи: $K_y < 15$ — очень сильная засуха, $15 \leq K_y < 20$ — сильная засуха, $20 \leq K_y < 25$ — средняя засуха.

Интенсивность атмосферной засухи можно определить по сочетанию максимальной температуры и дефицита влажности воздуха (табл. 12.2).

12.2. Агрометеорологические показатели атмосферных засух (по В. М. Пасову)

Засуха	Максимальная температура воздуха, °С	Дефицит влажности воздуха в 13 ч, гПа
Средняя	≤ 30	27 ... 52
	31 ... 35	27 ... 40
Интенсивная	31 ... 35	41 ... 52
	36 ... 40	27 ... 52
Очень интенсивная	36 ... 40	53 ... 80
	≥ 40	> 27

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 %.

А. М. Алпатьев (1969) рекомендует к засушливым годам относить те, при которых снижение урожая составило более 25 % 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 кушение—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.

Повреждение посевов суховеями в значительной степени зависит от интенсивности и продолжительности этого явления.

Е. А. Цубербиллер, исследовавшая агрометеорологическую сущность суховеев, установила, что надежный показатель суховеев — дефицит влажности воздуха.

Усиливающим фактором в сухой комплекс 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 эвапориметрический 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 за-

12.3. Агрометеорологические показатели суховеев и степень повреждения яич зерновых культур (по Е. А. Цубербиллер, 1966)

Суховей	Испаря- емость, мм/сут	Дефицит насыщения водяного пара (гПа) в 13 ч при скорости ветра, м/с		Запасы продуктивной влаги (мм) в различных слоях (см)				Эвапоромет- рический коэффициент K_5	Характеристика степени повреждения растений
		<10	≥10	0...20	0...50	0...100	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 усы- хание вегетативной мас- сы, захват зерна через 2...3 сут	
Очень интен- сивные	>8	≥53	≥46	0	—	≤30	0,2...0,1	Быстрое и сильное по- вреждение вегетативной массы, захват зерна через 1...2 сут	

висимости от имеющихся в его распоряжении агрометеорологических данных оценить интенсивность суховеев.

Повторяемость засух и суховеев на территории России. Засухи в основных сельскохозяйственных 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. 12.3).

На юго-востоке европейской части России суховеи 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. Пубербиллер) 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. 12.4).

Меры борьбы с засухами и суховеями. Необходимо отметить, что растения в какой-то степени сами борются с неблагоприятными явлениями, в частности, регулируя свой водный баланс. Одни растения уменьшают скорость транспирации, что является приспособлением к атмосферной засухе, другие — регулируют процесс поглощения воды из почвы, т. е. приспосабливаются к почвенной засухе.

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.

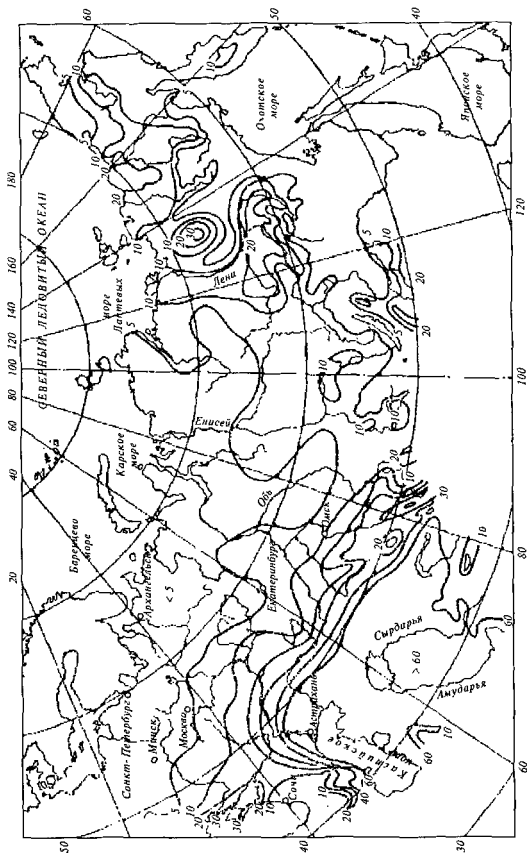


Рис. 12.3. Вероятность засух (по Н. И. Синицкой, И. А. Гольдберг и др.), % лет

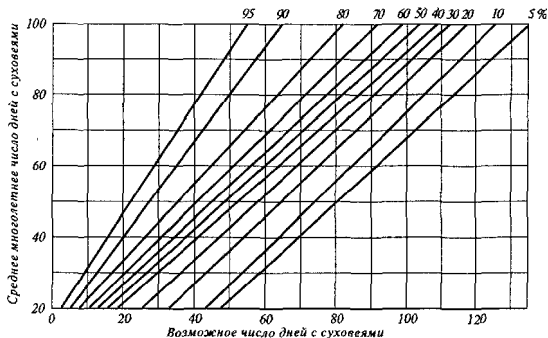


Рис. 12.4. Номограмма суммарной вероятности возможного числа дней с засухами в зависимости от средних многолетних значений за период апрель — октябрь (по В. А. Сенникову и Л. Е. Пасечнюку)

В практике сельскохозяйственного производства применяют разные способы борьбы с засухами и засухами. 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 сроками сева сельскохозяйственных культур, мульчирования почвы и т. д. К эффективным мерам относят создание засухоустойчивых сортов сельскохозяйственных культур, размещение их посевов с учетом агроклиматических и микроклиматических особенностей.

Далее приведена урожайность зерна овса в зависимости от различных влагонакопительных приемов (по М. С. Кулику, 1966)

Агротехнические влагонакопительные приемы	Урожайность зерна, т/га
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	2,67
плюс минеральные удобрения	

Таким образом, повышение общей культуры земледелия, включающее успехи селекционно-генетической работы, приме-

нение агротехнических приемов по задержанию, накоплению, сохранению и рациональному использованию запасов почвенной влаги, является эффективным средством борьбы с засухами и суховеями. Накопленный отечественной агрономической и агрометеорологической науками опыт борьбы с засухами показал, что современная культура земледелия существенно ослабила влияние жестких и длительных засух 1972, 1975 и 1981 гг. и позволила собрать достаточное количество зерна.

12.2. 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 является основным фактором 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 эрозий. Критическими скоростями ветра на высоте 15 см считают: для песчаных и супесчаных почв — 3...4, суглинистых — 4...7, торфяных — 4...5 м/с.

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 понижен-



Рис. 12.5. Земляные заносы после пыльной бури

ях рельефа или у различных препятствий — строений, лесных полос или других насаждений (рис. 12.5). Например, в 1960 г. в Ростовской области во время пыльных бурь лесными полосами было задержано от 5 до 30 м³ 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, 20 кг фосфора, 300 кг калия и 2...3 т гумуса (И. В. Свислук, 1986).

По подсчетам специалистов, в 1969 г. на открытых полях зяби снос почвы в отдельные сутки составлял 100...400 т/га, т. е. в 20...40 раз превышал годовые потери почвы. Гибель озимых местами достигала 62 %.

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.

Зимой пыльные бури возникают реже, чем в теплое время года, но отличаются продолжительностью и охватывают значи-

тельные территории России. Среднее многолетнее число дней с пыльными бурями увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток (рис. 12.6). Так, в южных областях сильные пыльные бури наблюдались зимой 1950–1951 гг., в январе 1963, 1964, 1965 гг., в январе–феврале 1969 г.

Противоэрозионной устойчивости почвы достигают, применяя рациональные приемы обработки, внося минеральные и главным образом органические удобрения, сея травы, опрыскивая поверхность почвы различными структурообразователями.

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 кущения. 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

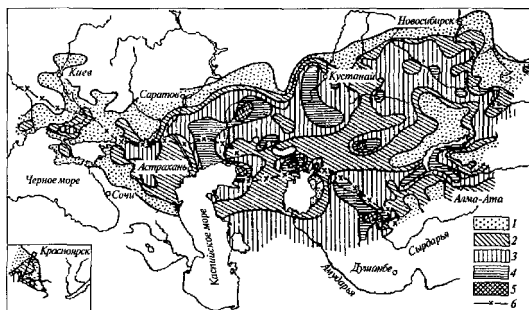


Рис. 12.6. Среднее многолетнее число дней с пыльными бурями (по Ю.И. Чиркову, 1986);

1 — 1...5; 2 — 6...10; 3 — 11...20; 4 — 20...40; 5 — > 40; 6 — граница устойчивого снежного покрова

более влажные слои почвы, что способствует более 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 перекапывание 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 предложенная Т. С. Мальцевым 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.

12.3. 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/м³).

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, составляет 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 находятся в предгорных и горных районах, 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. Это предгорные и горные районы Северного Кавказа и Закавказья, Средней Азии и Юго-Восточного Казахстана. Сильные градобития местами отмечают также в Крыму, Молдавии, Прикарпатье и Закарпатье. Вообще, наиболее часто град выпадает в умеренных широтах, а наиболее интенсивен он в тропиках.

Град наносит 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 посевы и насаждения защищают, активно воздействуя на градовые облака.

Основа метода активного воздействия — предотвращение процесса образования крупных градин путем засева градовых облаков льдообразующими реагентами (твердая уголекислота, йодистое серебро, йодистый свинец). Внесенный реагент способствует созданию огромного числа дополнительных ядер 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 50...70 %.

12.4. СИЛЬНЫЕ ЛИВНЕВЫЕ ДОЖДИ

Ливневые дожди, так же 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 полегание зерновых культур на 20...30 % посевных площадей, а в отдельные годы — на 80 %. Полегание посевов приводит к нарушению распределения биомассы по вертикальному профилю и изменению фитометеорологических условий. Согласно наблюдениям А. Д. Пасечнюка (1970), 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, затрудняется уборка и увеличиваются потери урожая.

Ливневые дожди или длительные 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 впитаться в почву и большая часть их стекает, смывая верхние плодородные слои почвы, вызывая водную эрозию. 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).

К профилактическим мерам борьбы с водной эрозией относят сохранение лесов и травяного покрова на эрозионно опасных участках. Активные меры борьбы с водной эрозией следующие:

размещение сельскохозяйственных культур с учетом их почвозащитной способности (на малоопасных участках — пропашные культуры, на более эрозионно опасных полях — многолетние травы, зернобобовые культуры, пожнивные культуры, 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.

Кроме указанных (основных) приемов существуют и другие мелиоративные способы уменьшения действия водной эрозии.

12.5. ЗАМОРОЗКИ

Заморозком называют понижение температуры воздуха или деятельной поверхности до 0°C и ниже на фоне положительных среднесуточных температур в период вегетации растений. 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.

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 вегетационным периодом 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°C (при этом в воздухе часто температура выше 0°C). При *средних* заморозках температура снижается до $-3...-4^{\circ}\text{C}$ и заморозок охватывает нижние слои воздуха; *сильные* заморозки — -5°C 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°C . При этом типе заморозков отрицательные температуры наблюдаются не только в приземном слое воздуха, они могут распространяться по всей массе притекающего воздуха до больших высот. 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, и к концу этого периода температура постепенно повышается. 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. 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 $2,5...3^{\circ}\text{C}$, а в континентальных районах Сибири — $4...4,5^{\circ}\text{C}$. На осушенных торфяных болотах и в замкнутых котловинах в отдельных случаях эта разность может достигать $9...10^{\circ}\text{C}$.

Радиационные заморозки более опасны для сельскохозяйственных растений, так как в западных районах России весной они прекращаются при средних суточных температурах воздуха около $5...6^{\circ}\text{C}$, а в континентальных районах Сибири — при средней суточной температуре $10...13^{\circ}\text{C}$, 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 в начале лета, а также ранней осенью и является наиболее опасным для сельскохозяйственных культур. Интенсивность адвективно-радиационных заморозков обычно невелика ($-2...-3^{\circ}\text{C}$). Эти заморозки возможны обычно в ночные часы, главным образом перед восходом Солнца, их продолжительность чаще всего 3...4 ч в течение нескольких ночей.

Заморозки на поверхности почвы весной заканчиваются позже, а осенью начинаются раньше, чем в воздухе (на высоте 2 м). 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.

Период между средней многолетней датой самых поздних весенних и средней многолетней датой самых ранних осенних заморозков называют *беззаморозковым* периодом.

Средние даты окончания весенних, начала осенних заморозков и продолжительность беззаморозкового периода в воздухе на открытом ровном месте приведены на рисунках 12.7...12.8. Направление изолиний, как можно видеть из рисунков, в основном широтное.

В северных районах территории России нет четко выраженного беззаморозкового периода. Заморозки здесь возможны во все месяцы теплого периода.

В основной земледельческой зоне страны продолжительность беззаморозкового периода колеблется от 90 сут на севере до 270 сут на юге. 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

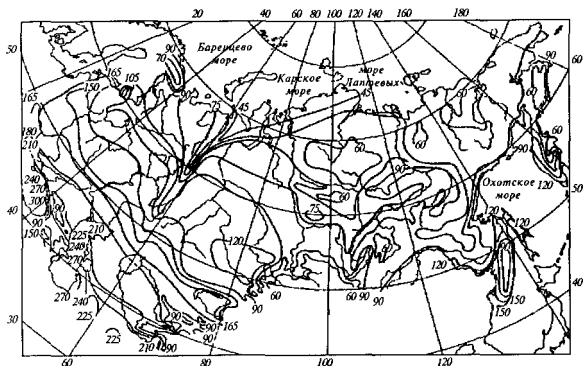


Рис. 12.8. Средняя многолетняя продолжительность (сут) безморозкового периода в воздухе на открытом ровном месте (по И. А. Гольцберг)

определить оптимальные сроки сева теплолюбивых культур, высадки рассады овощных, а также сроки уборки сельскохозяйственных культур.

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 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 °C.

На больших ровных участках площадью в несколько квадратных километров создаются средние условия заморозкоопасности, поскольку здесь нет ни притока, ни стока охлажденного воздуха. Поэтому заморозкоопасность различных форм рельефа составляют с открытыми ровными участками.

Разности температур на ровном открытом участке и в разных формах рельефа, а также изменение длительности беззаморозкового периода приведены в таблице 12.4.

12.4. Заморозкоопасность различных форм рельефа (по И. А. Гольцберг, 1961)

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

П р и м е ч а н и е. 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.

Как видно из таблицы, в вогнутых формах рельефа (замкнутые долины, котловины) продолжительность беззаморозкового периода уменьшается, интенсивность заморозков увеличивается, а на выпуклых формах рельефа (вершины холмов, верхние части склонов), наоборот, продолжительность периода больше, заморозки слабее по сравнению с открытым ровным местом. Менее заморозкоопасны по сравнению с ровным открытым пространством и побережья крупных водоемов.

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 торфя-

никах 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. Вышедшая из клеток в межклетники вода быстро испаряется, поврежденные клетки не успевают восстановить дефицит влаги и высыхают.

Влияние заморозков на сельскохозяйственные культуры. 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 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).

12.5. Классификация сельскохозяйственных культур по их устойчивости к заморозкам в разные фазы развития (по В. Н. Степанову, 1948)

Культура	Критическая температура начала повреждения и частичной гибели, °С		
	Всходы	Цветение	Созревание (молочная спелость)
<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, конопля	-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	-	-
Морар	-3 ... -4	-1 ... -2	-

Культура	Критическая температура начала повреждения и частичной гибели, °С		
	Всходы	Цветение	Созревание (молочная спелость)
<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	-2
Бахчевые	-0,5 ... -1	-0,5 ... -1	-0,5 ... -1
Рис	-0,5 ... -1	-0,5	-

Из данных таблицы 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 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 $-1...-3^{\circ}\text{C}$, т. е. при слабых заморозках.

Для плодовых и ягодных культур заморозки также наиболее опасны в период цветения и образования завязей (табл. 12.6).

12.6. Критические температуры для генеративных органов плодовых и ягодных культур

Культура	Генеративные органы	Критическая температура, °С
Виноград	Распустившиеся почки	-1
	Цветки	0
Яблоня, груша, вишня, слива	Закрытые бутоны	-4
	Цветки	-2
Черешня	Завязи	-1
	Бутоны и цветки	-2
	Завязи	-1
Абрикос, персик	Закрытые бутоны	-3
	Цветки	-2
	Завязи	-1
Малина, земляника	Цветки и завязи	-2

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°C , а цветки плодовых и ягодных кустарников и косточковых культур — при $-5...-6^{\circ}\text{C}$.

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 культур, например, это более 10 °C), 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 борьбы с заморозками 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 разница может достигать 3...5 °C и более. Поэтому синоптический прогноз можно уточнить по данным наблюдений в конкретном районе. Для этого разработан ряд методов, например метод Михалевского.

Для определения ожидаемой минимальной температуры воздуха и почвы Михалевский предложил формулы:

$$t_{\min \text{ в}} = t' - (t - t')C \pm A; \quad (12.4)$$

$$t_{\min \text{ п}} = t' - (t - t')2C \pm A, \quad (12.5)$$

где t' — температура по смоченному термометру в 13 ч, °C; t — температура по сухому термометру в 13 ч, °C; 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 $A = -2$ °C, при средней облачности (4...7 баллов) $A = 0$, при облачности 8...10 баллов $A = 2$ °C.

Если рассчитанная $t_{\min}$ окажется ниже -2°C , то заморозок будет; при $t_{\min}$ от -2 до $+2^{\circ}\text{C}$ заморозок вероятен; при $t_{\min}$ выше 2°C заморозок маловероятен.

На осушенных торфяно-болотных почвах северо-западных и западных областей России ожидаемые минимальные температуры воздуха $t_{\min \text{ в}}$ и почвы $t_{\min \text{ п}}$ можно рассчитывать по формулам, полученным Р. М. Меджитовым:

$$t_{\min \text{ в}} = 0,8t + 0,09f - 14,1; \quad (12.6)$$

$$t_{\min \text{ п}} = 0,78t + 0,11f - 18,3, \quad (12.7)$$

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. 12.9). 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.

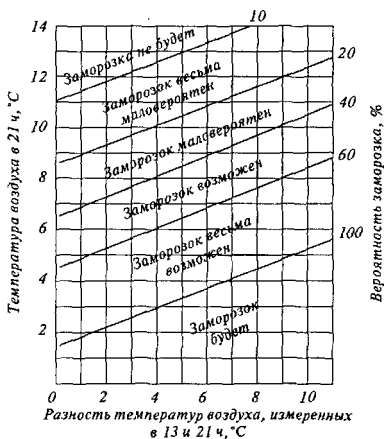


Рис. 12.9. График прогноза вероятности заморозков методом Броунова

Имеются и другие способы предсказания заморозков, например методы М. Е. Берддянда, 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 *методом 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.

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 °С выше критической значительно снижает действие заморозков, а повышение на 3...4 °С 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 окуливание растений при помощи дымовых куч (рис. 12.10), 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.

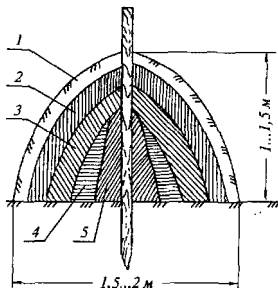


Рис. 12.10. Дымовая куча:

1 — земля; 2 — бурьян и ботва; 3 — навоз, со-
лома, листья; 4 — щепки и дрова; 5 — солома
и стружки

Следует отметить, что спо-
собы дымления могут давать
эффект только на ровном мес-
те, при отсутствии подтока хо-
лодного воздуха со стороны,
при слабом ветре (1...2 м/с).

Для образования дымогу-
манной завесы иногда исполь-
зуют красный фосфор, кото-
рый при сжигании дает густую
пелену дыма, а также приме-
няют хлористый аммоний, ма-
зут и другие вещества. В пос-
ледние годы для создания та-
ких завес стали широко при-
менять специальные дымовые
шашки.

Зажигание дымовых смесей
можно начинать при температу-
ре воздуха на 1...1,5 °C выше
критической температуры за-
щищаемой 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 при за-
морозках радиационного типа в безветренную погоду.

В качестве топлива чаще используют нефть, но есть и пара-
финовые грелки, и грелки на твердом топливе.

При использовании такого метода возможно повышение тем-
пературы воздуха в приземном слое на 1...4 °C.

Определенный интерес представляет комбинированное ис-
пользование открытого обогрева с ветровыми машинами, спо-
собствующими более равномерному распределению тепла, излу-
чаемого грелками.

Существенный недостаток этого метода — загрязнение атмо-
сферного воздуха. Кроме того, продукты неполного сгорания оседа-
ют на растениях и ухудшают их фотосинтетическую деятельность.

Для *укрытия растений* применяют различные светопрозрач-
ные материалы (пленку, стеклянные колпаки), тканые и нетка-
ные материалы, специальные пены. По своим теплозащитным
свойствам жидкая пена аналогична свежевывавшему снегу. В
отдельных случаях низкорослые растения просто присыпают
землей или торфом.

Продувание посевов и насаждений с помощью снятых с самоле-
тов двигателей, отработавших свой полетный ресурс, или с по-
мощью вертолета, зависающего на небольшой высоте над пло-
довым 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 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, задерживая тем самым цветение (это особенно ценно для ранозцветающих культур). При этом было установлено, что некоторые регуляторы вообще способствуют существенному повышению устойчивости цветков к заморозкам.

Положительные результаты дают опыты В. В. Вольвача, Н. К. Диденко и др. (1991) 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 г/м² температура повышалась на 3 °С.

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, а также для животноводства как при стойловом, так и (особенно) отгонном содержании.

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 изменяющейся в течение зимы и от года к году. Поэтому, прежде чем разбирать сами опасные явления, необходимо рассмотреть физические и биологические основы зимостойкости растений.

12.6. ЗИМОСТОЙКОСТЬ РАСТЕНИЙ

Зимостойкость растений — биологическое свойство зимующих растений противостоять комплексу неблагоприятных условий погоды в холодное время. И. И. Туманов (1940) 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, закаливание растений проходит в две фазы. Наилучшие условия для первой фазы закаливания создаются в солнечные ясные дни, при среднесуточной температуре воздуха $6...0^{\circ}\text{C}$ и большой суточной амплитуде температуры (днем $10...15^{\circ}\text{C}$, ночью $1...2^{\circ}\text{C}$). Первая фаза длится $12...14$ сут. При таких условиях растения растут слабо (не хватает тепла), а фотосинтез протекает нормально. Накапливаются сахара в тканях, и особенно в точках роста, узлах кушения, выполняющие функцию защитных веществ. Хорошо развитые раскустившиеся растения озимых способны накопить $20...30\%$ сахаров (от сухой массы растений) в узлах кушения и до 17% в листьях. После окончания первой фазы закаливания растения озимых безболезненно выдерживают понижение температуры почвы на глубине узла кушения до -12°C (в период активного роста им опасна температура ниже -8°C).

Вторая фаза закаливания растений успешно проходит при

среднесуточной температуре воздуха $-2...-5^{\circ}\text{C}$, сухой погоде и при некотором иссушении почвы. Она возможна 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 и увеличения концентрации клеточного сока. Крахмал в клетках растений частично превращается в сахара, запасы которых увеличиваются. Продолжительность второй фазы, по мнению Туманова, может быть небольшой — $3...5$ сут. Н. П. Панченко (1957) считает, что вторая фаза закаливания растений при температуре -3°C длится $8...10$ сут. Наибольшее количество сахаров в растениях отмечают в период второй фазы закаливания.

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°C , а высокозимостойких — до -20°C и ниже. Критическая температура вымерзания ржи составляет $-22...-24^{\circ}\text{C}$ и ниже, озимого ячменя и двуукосного клевера $-13...-16^{\circ}\text{C}$, люцерны $-17...-19^{\circ}\text{C}$. Кроны многих древесных культур могут переносить морозы до $-45...-50^{\circ}\text{C}$, за исключением лимона, который не переносит температуры воздуха ниже -8°C .

Устойчивость растений к морозам изменяется под влиянием различных условий погоды, при этом в начале зимы морозостойкость сельскохозяйственных культур бывает сравнительно невысокой, к середине зимы увеличивается до максимальных значений, а к весне уменьшается.

Зимостойкость озимых 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.

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). 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.

12.7. Температуры почвы (на глубине 3 см), повреждающие озимую пшеницу при различных условиях закалывания, °С

Территория	Условия закалывания		
	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

12.7. ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМИ

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.

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 на большей части лесостепной и степной зон. 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 до —8...—15 °С. 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 1968/69 г., когда температура на глубине залегания корней понижалась до —16...—17 °С 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 кушения и имеющие 4...5 побегов, обладают большей зимостойкостью, чем растения в фазе всходов или 3-го листа, или 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 слаборослых деревьев в междурядьях сада высевают горчицу. Наблюдения за температурой верхнего слоя почвы, содержащейся в разных агротехнических условиях, показали, что температура почвы, покрытой горчицей, в среднем на 3 °С выше, чем в почве, содержащейся под черным паром. В зиму 1968/69 г. разница в температуре достигала 3,5...4 °С, а в морозные дни января она доходила до 10...11 °С.

Выпревание растений происходит в результате длительного (более 30 сут) пребывания растений под высоким (более 30 см) снежным покровом при слабом промерзании почвы и ее температуре на глубине узла кушения растений, близкой к 0 °С. При таких условиях растения быстро расходуют запасы питательных веществ на дыхание, истощаются и подвергаются грибным заболеваниям, от которых погибают.

И. И. Туманов (1940) 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 израсходовании 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.

Выпревание растений наблюдается в основном в Нечерноземной зоне европейской части России (до 30...50 % лет).

Для защиты растений от выпревания снежный покров уплотняют прикатыванием, что способствует снижению температуры почвы под снегом. Зачернение поверхности снежного покрова весной ускоряет начало снеготаяния, приводит к уплотнению и более раннему сходу снежного покрова, что также уменьшает гибель посевов от выпревания.

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). За одни сутки в тканях растений под ледяной коркой содержание углекислого газа возрастает от 2 до 20 %, а кислорода уменьшается с 20 до 8 %.

Иногда притертая ледяная корка наносит и чисто механическое повреждение растениям: происходит разрыв корешков, вмерзших в лед.

Ледяная корка в виде прослойки в снежном покрове для ози-

рых 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.

Ледяная корка на территории нашей страны образуется часто, особенно она распространена на северо-западе и в центральных районах европейской части России — 5 лет и более из 10.

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 кушения 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 результате выпирания сильнее повреждаются растения на переувлажненных, поздно вспаханных тяжелых, бесструктурных почвах, особенно в тех случаях, когда между обработкой почвы и севом озимых проходит не более 10...20 сут. Выпиранию на таких почвах подвержены растения со слаборазвитой корневой системой. Хорошо раскустившиеся озимые, имеющие большое число горизонтально расположенных в почве корней, подвергаются выпиранию значительно реже. Корневая система их поднимается и олуσκεται одновременно с выпучиванием и оседанием верхнего слоя почвы.

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 борьбе с выпиранием: 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 кушения обнажились.

Вымокание растений вызывается застоем воды на полях. Основная причина гибели растений при затоплении — нарушение процессов дыхания и фотосинтеза.

Степень повреждения растений зависит от высоты их затопления, продолжительности периода затопления и температуры

воды. Так, прорастающие семена погибают на 18...20-е сутки, а развитые всходы могут выдерживать частичное затопление до двух месяцев. При повышении температуры воды, например, от 0 до 7 °C число погибших растений увеличивается в 2 раза. При этом весеннее затопление растений при прочих равных условиях более опасно, чем осеннее, так как они 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 борьбе с вымоканием посевов.

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. Слабораскутившиеся растения вообще полностью выдуваются из почвы и быстро засыхают.

Для предотвращения выдувания растений необходимо применять все приемы агротехники, направленные на увеличение влажности почвы, снежного покрова и 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 (высыхание растений) бывает во второй половине зимы или ранней весной при отсутствии снежного покрова. В солнечную погоду температура воздуха днем поднимается до 0 °C 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 высыхание надземных органов, а затем узлов кущения 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 также способствуют сильные ветры и низкая относительная влажность воздуха.

Меры борьбы с этим явлением — 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 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. 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 вододисперсионными красками.

Гололед — слой гладкого прозрачного или мутного льда, образующегося на земной поверхности, деревьях и других наземных предметах вследствие намерзания переохлажденных капель дождя или тумана при их соприкосновении с земной поверхностью или наземными предметами, охлажденными ниже 0°C (рис. 12.11). Чаще всего гололед наблюдается осенью или ранней весной при температуре воздуха от 0 до -5°C .

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 плодово-ягодные культуры. На отгонных пастбищах, например, он препятствует доступу животных к траве.

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. Большое значение для поддержания ослабленных неблагоприятной перезимовкой растений имеют весенняя подкормка их минеральными удобрениями и боронование посевов.



Рис. 12.11. Отложение гололеда на ветвях

Глава 13

АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РОССИИ

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 и продуктивность сельскохозяйственных животных.

Агроклиматические условия — это сочетание агрометеорологических элементов (температуры воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, осадков, потоков лучистой энергии, облачности и т. д.) 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, пород сельскохозяйственных животных 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 главах 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. Сопоставление агроклиматических ресурсов различных территорий по степени их благоприятности для сельскохозяйственного производства составляет сущность агроклиматического районирования.

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 сельско-

хозяйственного 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 дает возможность оценить в целом агроклиматические ресурсы территории для сельского хозяйства с учетом интересов всех или большинства его отраслей.

Впервые карта общего агроклиматического районирования территории 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°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 разделе 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 кушения 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).

1. Арктический. Земледелие ведут лишь в защищенном грунте. Средняя температура воздуха самого теплого месяца ниже 10°C . Развиты оленеводство и охота.

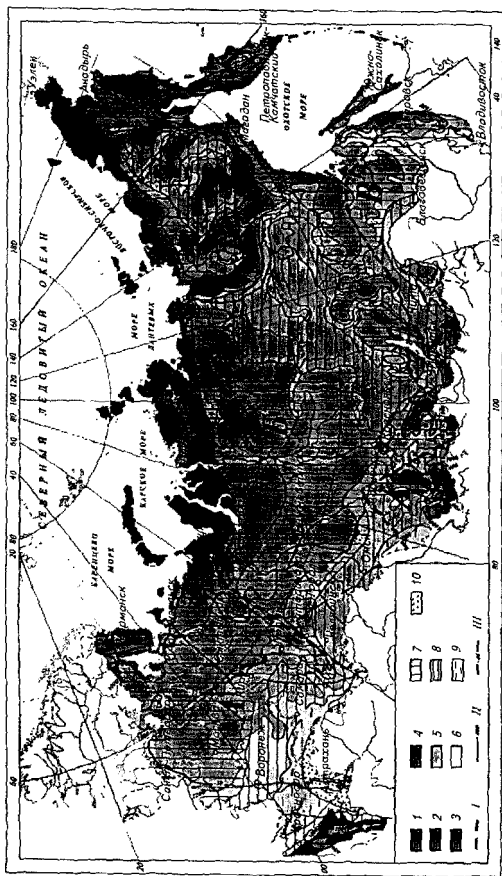


Рис. 13.1. Агроклиматические ресурсы России (упрощенно);

агроклиматические пояса по обеспеченности растений теплом ($\Sigma t_{10^{\circ}\text{C}}$): 1 — менее 400 $^{\circ}\text{C}$; 2 — 400...1000; 3 — 1000...1600; 4 — 1600...2200; 5 — 2200...3400; 6 — более 3400 $^{\circ}\text{C}$; влажной (ГТК): 7 — более 1; 8 — 0,55...1,00; 9 — 0,33...0,55; 10 — менее 0,33; соотношение осадков теплого (04...10 месяцев) и холодных (11...03 месяца) периодов: А — осадки теплого периода превалируют осадки холодного периода осадков теплого периода меньше чем в 2 раза; Б — то же, в 2...4 раза; В — то же, в 4 раза; Г — граница территорий с разным соотношением осадков; II — изолиния сумм температур за период с температурой выше 10 $^{\circ}\text{C}$; III — изолиния средних годовых минимумов температуры воздуха

2. Полярный (зона тундры). Развито очаговое земледелие. Средняя температура воздуха самого теплого месяца ниже 15°C , сумма активных температур более 10°C на южной границе пояса 1000...1200 $^{\circ}\text{C}$. 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.

3. 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 $^{\circ}\text{C}$. 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 $^{\circ}\text{C}$), в которых ресурсы тепла обеспечивают созревание различных по скороспелости сортов культурных растений: от очень раннеспелых до очень позднеспелых.

4. 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 $^{\circ}\text{C}$. Вегетация растений продолжается весь год (среднесуточная температура января около 5°C). 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. На территории России выделяется шесть зон.

1. Избыточно-влажная, $\text{ГТК} > 1,33$. Это территория тундры и тайги, преимущественно на глеево-подзолистых и подзолистых почвах.

2. Влажная, $\text{ГТК} = 1,33...1,00$, 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.

3. Слабо засушливая, $\text{ГТК} = 1,00...0,77$, соответствует лесостепи, на серых лесных, местами черноземных почвах.

4. Засушливая, $\text{ГТК} = 0,77...0,55$. Это типичная степь на обыкновенных черноземах.

5. Очень засушливая, ГТК = 0,55...0,33. 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.

6. Сухая, ГТК = 0,33...0,22 — 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, паводковое земледелие и др.).

Кроме того, вся территория страны разделена на районы, отличающиеся по годовому ходу осадков, показателем которого служит отношение осадков теплого полугодия (март—октябрь) к осадкам холодного (ноябрь—апрель). 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» ($t_{\text{ср. из абс. min}} > -10^{\circ}\text{C}$) до «очень суровая» ($t_{\text{ср. из абс. min}} < -45^{\circ}\text{C}$) на 8 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 — 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 кушения -16°C ... -20°C условия на большей части земледельческих районов благоприятные и удовлетворительные. Лишь в областях, где средний из абсолютных минимумов температуры воздуха $< -30^{\circ}\text{C}$, температура на глубине узла кушения опускается ниже -16°C (это восточные территории лесостепной и степной зон), и поэтому здесь достаточно велика вероятность вымерзания озимых и трав.

С. А. Сапожникова (1961) провела агроклиматическое районирование, впервые содержащее оценку потенциальной продуктивности умеренного пояса для зернового хозяйства. Установ-

ленная ею зависимость урожайности зерновых культур от агроклиматических условий позволила автору оценить в баллах Продуктивность (бонитет) климата (табл. 13.1).

13.1. Потенциальная продуктивность зернового хозяйства в умеренном поясе, (балл)

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

Развивая предложенную С. А. Сапожниковой методику оценки бонитета климата, Д. И. Шашко (1967, 1985) предложил оценивать климат различных тепловых поясов по биоклиматическому потенциалу (БКП) и в баллах:

$$БКП = KР\Sigma t/1000, \quad (13.1)$$

где $KР$ — коэффициент биологической продуктивности (расчетный), характеризующий урожайность зерновых на 100°C суммы температур; Σt — сумма активных температур выше 10°C .

Продуктивность (в баллах) рассчитывают из условия, что 100 баллов равны урожайности в 2 т/га на уровне агротехники госсортоучастков.

Получилось, что с продвижением от холодного пояса к жаркому БКП изменяется от 0,3 до 10, а баллы — от 23 до 710. Если эти характеристики перевести в урожайность, то ее значение соответственно увеличивается с 0,46 до 14 т/га.

Предложенная бонитировка климатов различных тепловых поясов свидетельствует об их различной возможной продуктивности.

Необходимо отметить, что одновременно с макроклиматическим районированием, т. е. всей территории страны, развивалось и мезоклиматическое районирование, т. е. отдельных крупных регионов (Алтайского края, Дальнего Востока, Якутии и т. д.). При этом его проводили как на основе общепринятых показателей, так и с использованием новых.

Например, А. М. Шульгин и С. Ф. Алексеев (1968) 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 тождественно 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 (1972) предложена количественная характеристика основных типов климата почвы (табл. 13.2, 13.3).

13.2. 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

13.3. 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 б. СССР) в теплый период года (рис. 13.2).

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 Главной геофизической обсерваторией проведено районирование севера, северо-запада европейской территории России и ряда других регионов по тепловому режиму почв. При этом учитывали, например, следу-

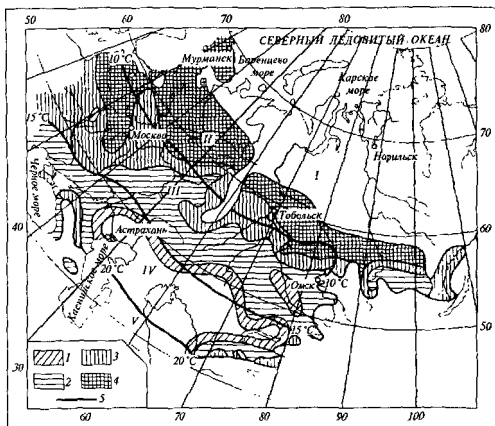


Рис. 13.2. Схематическая карта геотермических поясов и зон увлажнения (по А. М. Шульгину, 1978);

1 - 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

ющие показатели: дату перехода средней суточной температуры почвы на глубине 20 см через 5 и 10 °C, сумму температур почвы выше 10 °C и др. (рис. 13.3).

По региональному и типологическому принципам проведения районирования 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 районировать сельскохозяйственные культуры, регулировать агротехнические мероприятия, подбирать наиболее эффективные комплексы удобрений, управлять динамикой полевых работ.

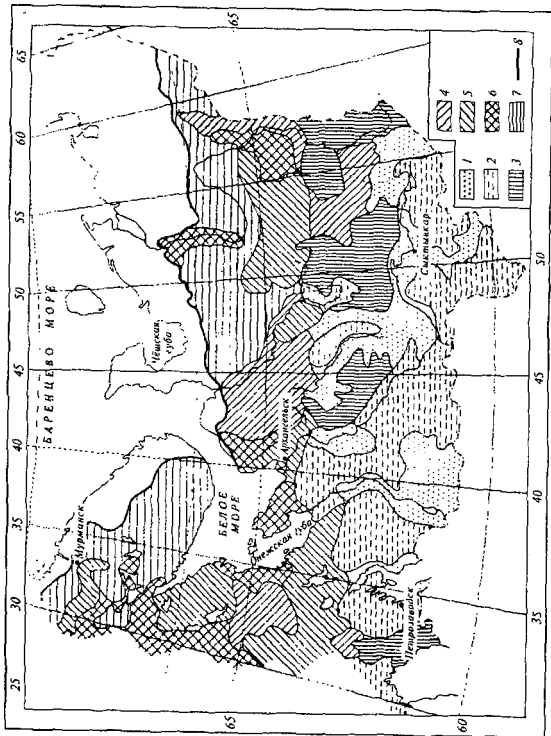


Рис. 13.3. Районирование севера европейской территории России по условиям теплообеспеченности почв (по Н. Г. Горышню):

1 — самый теплый климат; 2 — умеренно теплый; 3 — умеренно холодный; 4 — умеренно холодный; 5 — самый холодный; 6 — холодный; 7 — самый холодный; 8 — граница зон тундровых почв

13.2. ЧАСТНОЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Частное агроклиматическое районирование проводят для специализации сельского хозяйства и отдельных приемов агротехники, для отдельных культур или сельскохозяйственных животных и т. д.

Особенности этого вида районирования — детальный эколого-географический подход, использование агроклиматических показателей, выражающих, например, требования конкретных сортов, гибридов растений и пород животных к факторам климата. При этом учитывают критические температуры растений, устойчивость культур к неблагоприятным условиям погоды (заморозкам, засухам и т. д.). При районировании некоторых культур принимают во внимание продолжительность дня, приход ФАР. 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 (1932) 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 явилось агроклиматическое районирование для таких культур, как виноград (Ф. Ф. Давитая, 1952), картофель (А. И. Руденко, 1963), сахарная свекла (Л. С. Кельчевская, 1964), пожнивные культуры (В. А. Смирнов, 1960), кукуруза (С. А. Сапожникова, 1957) и др.

В качестве примера на рисунке 13.4 приведена детальная карта зон обеспеченности теплом и влагой различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы, выполненная Ю. И. Чирковым (1969). Пояснения к этой карте приведены в таблицах 13.4 и 13.5.

Известно, что погодные и климатические условия влияют на распространение болезней и вредителей сельскохозяйственных культур (см. гл. 2, 3, 4, 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 вредностью 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 выявлении критических периодов и факторов, определяющих возможность их (вредителей и болезней) существования и развития в различных районах. Оценка климатических ресурсов с учетом этих показа-

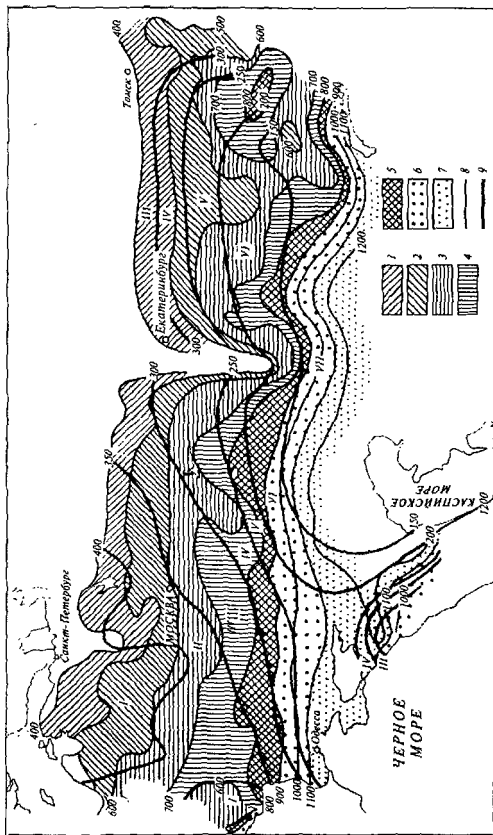


Рис. 13.4. Зоны обеспеченности теплом и влагой основных фаз развития различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы (по Ю. И. Чиркову, 1969):

I...7 — термические зоны; 8 — изолинии сумм эффективных температур 80%-й обеспеченности за вегетационный период; 9 — изолинии сумм осадков за вегетационный период; I...VII — зоны увлажнения

13.4. Обеспеченность теплом кукурузы различных по скороспелости сортов и гибридов в разных зонах, % лет

Термическая зона	Сумма эффективных температур (выше 10 °С), обеспеченная в 80 % лет	Скороспелость сортов и гибридов			
		среднеранние	средне-спелые	средне-поздние	поздние-спелые
1	400...500	80...90	55...80	45...70	35...55
		5...10	5	—	—
2	500...600	90...100	80...98	70...90	55...75
		15...35	5...10	5	—
3	600...700	100	98...100	90...100	75...95
		35...60	10...35	5...15	5
4	700...800	100	100	100	95...100
		60...80	35...60	15...40	5...15
5	800...900	100	100	100	100
		80...95	60...82	40...55	15...40
6	900...1100	100	100	100	100
		100	82...100	55...90	40...80
7	> 1100	100	100	100	100
		100	100	90	80

Примечание. Числитель — в фазе выметывания; знаменатель — в фазе восковой спелости.

13.5. Ресурсы влаги, обеспеченные в 80 % лет (весенние запасы в слое почвы 0...100 см + осадки за период вегетации) в различных зонах увлажнения

Зона увлажнения	Ресурсы влаги, мм	Зона увлажнения	Ресурсы влаги, мм
I	400	V	200...250
II	350...400	VI	150...200
III	300...350	VII	150
IV	250...300		

телей 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 (распространения линейной ржавчины пшеницы) приведена на рисунке 13.5. Интегральным показателем в данном случае служит ГТК Селянинова. Районы с наиболее частым и интенсивным проявлением заболевания (4...5 лет из 10)

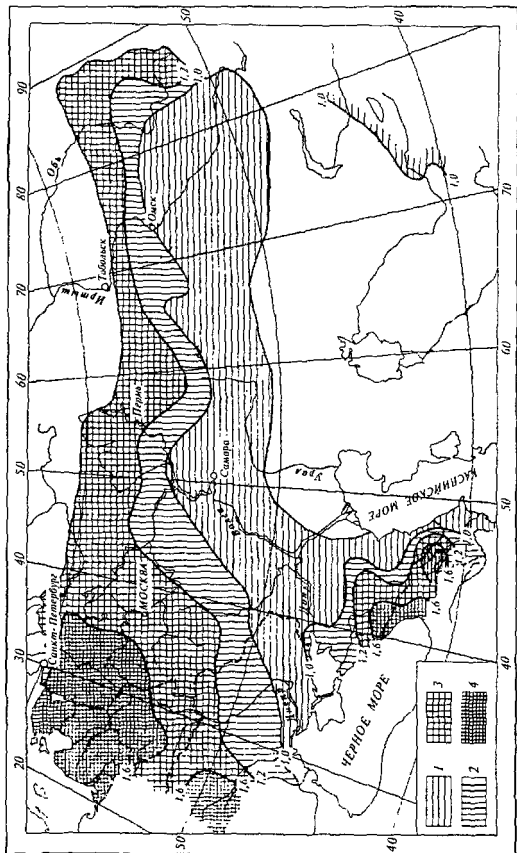


Рис. 13.5. Вероятность эпифитотий (вспышек) линейной ржажины пшеницы (по Л. А. Макаровой и И. И. Мипкевичу, 1977):

1 - 0...10 %; 2 - 10...20 %; 3 - 20...40 %; 4 - 40...50 %. На изолиниях даны значения ГТК

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 изолиний ГТК 1,2. Эта изолиния (ГТК-1,2) практически совпадает с южной границей зоны потенциальной вредоносности болезни.

Значительные успехи достигнуты в разработке агроклиматического обоснования агротехники (А. П. Федосеев, В. П. Дмитренко, Л. Н. Деревянко, З. А. Шостак, А. Н. Полевой, Н. В. Гулинова, М. Г. Лубнин, М. С. Кулик и др.). Выполнено частное агроклиматическое районирование 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.

Известно, что урожай сельскохозяйственных культур во многом зависит от срока сева. Так, в Нечерноземной зоне сахарную свеклу 8 лет из 10 целесообразно сеять не позднее 15 мая в северных районах свеклосеяния и 30 апреля на юге зоны (рис. 13.6). При очень ранних посевах длительное пребывание семян в почве при низкой температуре увеличивает цветущность растений.

Интересную и важную информацию можно получить и с карт, подобных показанной на рисунке 13.7. Здесь приведено

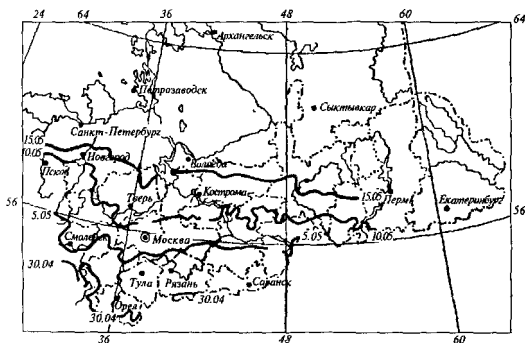


Рис. 13.6. Оптимальные сроки сева сахарной свеклы в Нечерноземье (по Л. С. Кельчевской, 1983)

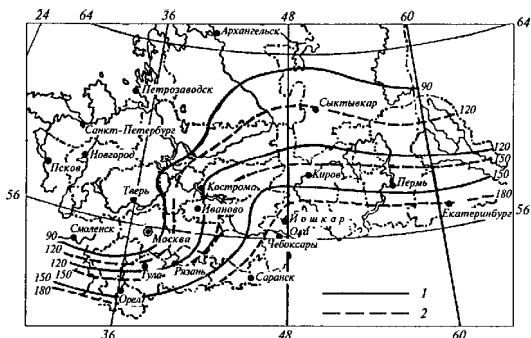


Рис. 13.7. Оросительные нормы различной обеспеченности для капусты в Нечерноземье (по Э.Г. Евтушенко), мм:

1 — обеспеченность в 75 % лет; 2 — в 95 % лет

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 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 рисунка 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).

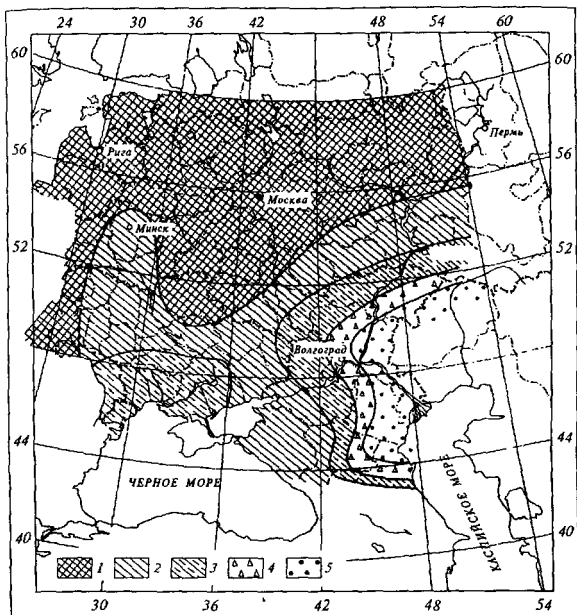


Рис. 13.8. Повторяемость лет целесообразности весенней подкормки озимых культур азотом (по А. П. Федосееву, 1979):

зона целесообразности подкормки: 1 — практически ежегодно (90...100 %); 2 — в большинстве лет (70...89 %); 3 — больше половины лет (50...69 %); 4 — меньше половины лет (30...49 %); 5 — в отдельные благоприятные годы (меньше 30 %)

Значимость подобных разработок для сельскохозяйственного производства очевидна. Они позволяют специалистам сельского хозяйства принимать научно обоснованные проектные решения.

13.3. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ

Агроклиматическими аналогами называют территории, сходные по климатическим условиям существования определенных экологических групп растений, домашних животных и приемам земледелия. При интродукции культурных растений (т. е. при переносе их из одних районов в другие), а также при обмене мировым опытом земледельческой культуры надо учитывать сходство и различие климатов, почв и других природных условий возделывания растений.

Теория агроклиматических аналогов была разработана Н. И. Вавиловым, Г. Т. Селяниновым и Ф. Ф. Давитая. Она основывается на общности основных элементов климата, необходимых для оптимального роста, развития и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур и пород животных. Следовательно, при интродукции 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 анализируются ведущие для данной 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 весенний и осенний 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 нужд сельского хозяйства.

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. Ячмень и горох растут в горах Эфиопии, на Аравийском полуострове и под Санкт-Петербургом. Условия вегетационного периода Ленинградской области (средняя месячная температура около 15 °С, сумма активных температур 1700 °С и достаточный режим увлажнения в критический период жизни растений) вполне обеспечивают потребности этих культур. Картофель, ро-

диной которого являются горные районы Перу и Колумбии, широко распространен в зоне умеренного климата России — агроклиматического аналога для картофеля.

Теория агроклиматических аналогов, проверенная многократно на практике, с успехом используется в сельскохозяйственном производстве для интродукции новых перспективных культур, их сортов и гибридов.

Агроклиматическое районирование является завершающим этапом сельскохозяйственной оценки климата.

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, научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 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.).

Территориальные УГМС руководят работой областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, местных обсерваторий, а также наблюдательных гидрометеорологических и агрометеорологических станций и постов.

Главная задача гидрометеорологического обеспечения — регулярное оказание всесторонней помощи сельскому хозяйству в наиболее полином и рациональном использовании климатических и погодных условий с целью получения высоких и 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 факторов, 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 продукционным процессом дифференциация агротехнологии осуществляется по результатам текущих наблюдений за состоянием посевов и средой обитания растений. 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 краткосрочных и долгосрочных метеорологических, гидрологических и агрометеорологических прогнозов и расчетов;

изучения метеорологического, гидрологического и агрометеорологического режимов территории России 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 ес-

тественных условиях, так и после проведения различных агротехнических и лесомелиоративных мероприятий.

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 (туманом, гололедом, изморозью, метелью 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 условиями выпаса скота с учетом состояния пастбищ, за влажностью почвы на полях севооборота (визуально и с помощью инструментальных измерений).

Зимой ведут наблюдения:

за температурой почвы на глубине узла 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 вырубают монолиты (в январе и феврале) и помещают их в ящики, которые устанавливают в теплое 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.

У плодовых культур через 5...7 сут после сильных морозов ($-25...-30^{\circ}\text{C}$) 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. Нераспустившиеся почки считают поврежденными (на срезе они имеют бурую или желтоватую окраску). Кроме того, также по окраске среза определяют степень повреждения древесины.

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 гидрометеорологических и агрометеорологических наблюдений и связанных с ними работ, а также методы обработки результатов наблюдений, выполняемых станциями, постами и учреждениями Гидрометслужбы, регламентируются Наставлением гидрометеорологическим (агрометеорологическим) станциям и постам.

14.3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ФОРМЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Оперативные подразделения Росгидромета совместно с Гидрометцентром регулярно обеспечивают все службы сельскохозяйственного производства различными видами метеорологических, агрометеорологических и гидрологических материалов, основными из которых являются следующие.

1. Метеорологические прогнозы различной заблаговременности: на 30 сут, на 5...7 сут, на 3 сут, на 1 сут.

2. Гидрологические прогнозы (прогнозы режима вод рек, водохранилищ и других водных объектов).

3. Агрометеорологические прогнозы (см. гл. 16).

4. Предупреждения об опасных гидрометеорологических явлениях.

5. Информация о текущих агрометеорологических условиях и их влиянии на перезимовку, рост, развитие и формирование урожая сельскохозяйственных культур и трав, на проведение полевых работ и выпас скота на пастбищах.

6. Рекомендации по дифференцированному применению агротехнических мероприятий в зависимости от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий.

7. Режимная, или агроклиматическая, информация.

Основные формы обеспечения потребителей агрометеорологической информацией:

ежедневный гидрометеорологический бюллетень;
декадный агрометеорологический бюллетень;
сводка «Основные агрометеорологические особенности декады»;

доклад «О гидрометеорологических условиях (за прошедший месяц) и их влиянии на деятельность народного хозяйства»;

обзор агрометеорологических условий за сельскохозяйственных год;

агрометеорологические ежегодники;

агрометеорологические справки, рекомендации и устные консультации;

выступления по радио, телевидению, публикации агрометеорологических обзоров в газетах.

Агроклиматическая информация представлена в форме климатических и агроклиматических справочников, карт, атласов и т. п. Например, имеются «Агроклиматические справочники» и монографии «Агроклиматические ресурсы» по всем областям, краям и республикам. Кроме того, изданы «Агроклиматический атлас мира», «Агроклиматические ресурсы СССР», «Атлас запасов продуктивной влаги в почве» и др.

Вся эта обширная, многоплановая гидрометеорологическая и агрометеорологическая информация в той или иной форме может быть использована для решения различных сельскохозяйственных задач. Пример такого целевого использования информации представлен в таблице 14.1.

Своевременное получение и правильное использование гидрометеорологической и агрометеорологической информации способствует увеличению доходов хозяйств при благоприятно складывающихся погодных условиях и снижению потерь при неблагоприятных ситуациях.

Для расчета экономического эффекта от использования гидрометеорологической информации в агропромышленном комплексе можно использовать методические рекомендации, разработанные, например, во ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии.

В общем виде формула для расчета экономического эффекта (ЭЭ) при учете различных видов гидрометеорологической информации выглядит так:

$$\text{ЭЭ} = K_y S(\Delta Y \Pi - Z), \quad (14.1)$$

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; ΔY — прибавка урожая благодаря внесению удобрений, поливам и другим мероприятиям, проведенным в соответствии с прогнозами и рекомендациями агрометеорологов, т/га; Π — закупочная цена на данную культуру, р/т; Z — затраты на проведение агротехнических мероприятий плюс затраты на уборку дополнительной продукции, р/га.

14.1. Агрометеорологические рекомендации и прогнозы по обоснованию агротехники возделывания зерновых колосовых культур (по Е. Е. Жуковскому, 1986)

Основные виды и этапы сельскохозяйственных работ	Агротехнические, мелиоративные и организационные мероприятия	Необходимые мероприятия и их корректировка в зависимости от агрометеорологических условий
Программирование урожайности	Расчет различных уровней программируемых (планируемых) урожайности и вероятностей их получения. Составление дифференцированных для каждого поля технологических карт возделывания сельскохозяйственных культур	1. Расчет потенциальной, климатически обеспеченной, действительно возможной и программируемой урожайности в зависимости от климатических и почвенно-агротехнических условий 2. Учет особенностей сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий при расчете доз и сроков внесения минеральных удобрений, применения пестицидов и корректировки технологических схем возделывания сельскохозяйственных культур
Обработка почвы под озимые и яровые культуры	Лущение жнивья, вспашка зяби, уход за зябью. Безотвальное рыхление. Дискование, вспашка и поверхностные обработки пласта многолетних трав. Уход за чистыми парами. Предпосевная обработка почвы: боронование, культивация или глубокое рыхление (лущение или перепашка)	1. Прогноз сроков уборки предшественников с учетом агрометеорологических условий летнего периода 2. Определение целесообразности различных приемов обработки почвы (включая систему минимальной обработки). Рекомендации по числу и глубине весенне-летних обработок чистых паров в зависимости от осадков и влажности почвы 3. Прогноз начала весенних полевых работ
Посев кулисных растений	Подготовка почвы, определение сроков и норм посева растений для кулисных паров	Оценка и прогноз агрометеорологических условий для посева кулисных культур
Определение структуры посевных площадей	Корректировка структуры посевных площадей и подбор сортов различной интенсивности и скороспелости	1. Обоснование оптимального соотношения площадей посевов озимых и яровых (ранних и поздних) культур с учетом условий осеннего (для озимых) и весеннего (для яровых) увлажнения по различным предшественникам 2. Оценка сложившихся и прогнозируемых агрометеорологических условий, определяющих оптимальное сочетание сортов различной интенсивности и скороспелости
Посев	Подготовка семян к посеву. Выбор оптимальных сроков, норм и способов посева, глубины заделки семян	1. Прогноз оптимальных сроков сева 2. Корректировка норм высева в зависимости от агрометеорологических условий

Основные виды и этапы сельскохозяйственных работ	Агротехнические, мелиоративные и организационные мероприятия	Необходимые мероприятия и их корректировка в зависимости от агрометеорологических условий
Уход за озимыми посевами осенью	Прикатывание почвы. Отвод избытка влаги с полей (в районах избыточного увлажнения)	3. Рекомендации по глубине заделки семян в зависимости от влажности почвы 1. Обоснование целесообразности предпосевного или послепосевного прикатывания в зависимости от влажности и объемной массы пахотного слоя почвы 2. Прогноз состояния озимых ко времени прекращения вегетации с учетом сроков сева
Снежные мелиорации	Снегозадержание, снегогон, уплотнение снега	1. Обоснование целесообразности, сроков и видов снегомелиоративных работ 2. Прогноз и оценка условий перезимовки озимых культур и состояния посевов к началу возобновления вегетации
Посев или пересев поврежденных посевов озимых	Посев яровых культур на участках с изреженными (уплотнение) или погибшими (пересев) озимыми зерновыми	Рекомендации по целесообразности подсева или персева поврежденных озимых культур
Уход за посевами в весенне-летний период	<i>Озимые культуры.</i> Разрушение ледяной корки. Задержание или отвод талых вод. Весеннее боронование посевов. Борьба с сорняками. Прореживание переросших посевов. Меры борьбы против полегания <i>Яровые культуры.</i> Прикатывание, боронование посевов. Борьба с сорняками. Предупреждение полегания посевов	1. Рекомендации о целесообразности и сроках весеннего боронования озимых в зависимости от количества осадков и влажности почвы 2. Рекомендации по срокам и дозам применения гербицидов в зависимости от погодных условий 3. Прогноз вероятности полегания посевов, рекомендации по срокам и дозам внесения ретардантов и подготовки уборочной техники 4. Обоснование целесообразности прикатывания почвы в зависимости от влажности и объемной массы пахотного слоя почвы
Уборка	Подготовка уборочной техники. Прямая и раздельная уборка урожая. Уборка и вывоз соломы. Послеуборочная подработка зерна	1. Прогноз оптимальных сроков начала раздельной и прямой уборки урожая в зависимости от погодных условий 2. Обоснование выбора способа уборки. Рекомендации по целесообразному сочетанию прямой и раздельной уборки в зависимости от погодных условий периода уборки

Основные виды и этапы сельскохозяйственных работ	Агротехнические, мелиоративные и организационные мероприятия	Необходимые мероприятия и их корректировка в зависимости от агрометеорологических условий
Внесение удобрений	Внесение органических удобрений под предшествующую или возделываемую культуру. Внесение минеральных удобрений: основное, припосевное, подкормки	3. Оценка условий просыхания зерна и соломы в валках и на корню. Оценка продолжительности и качества работы уборочных машин в зависимости от метеорологических условий. Рекомендации по срокам и продолжительности работы уборочной техники 4. Оценка возможных потерь зерна по метеорологическим условиям 5. Предупреждение о возможности и интенсивности прорастания зерна в валках у различных сортов зерновых 6. Оценка воздействия ранних осенних заморозков на урожай и качество зерна 7. Расчет объема необходимых работ и технических средств для послеуборочной подработки зерна в зависимости от погодных условий периода уборки 1. Обоснование оптимальных доз и сроков внесения основного удобрения и подкормок в зависимости от погодных условий 2. Рекомендации по глубине заделки удобрений в зависимости от влажности пахотного слоя почвы
Борьба с болезнями и вредителями	Применение химических (протравливание семян, опыление посевов, защитные обработки и др.) и агротехнических (очистка семян, правильное чередование культур в севообороте, подбор устойчивых к болезням сортов, оптимальные сроки и нормы посева, ранняя уборка хлебов, уничтожение падалицы, лушение стерни, ранняя зябь, боронование посевов, минеральные подкормки и др.) мер борьбы с болезнями и вредителями зерновых культур	1. Прогноз численности вредителей и интенсивности болезней в связи с особенностями агрометеорологических условий 2. Агрометеорологическое обоснование сроков проведения химических обработок посевов, оценка их ожидаемой эффективности 3. Агрометеорологическое обоснование агротехнических мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями 4. Прогноз возможных потерь урожая от вредителей и болезней в зависимости от агрометеорологических условий
Орошение	Осенние и весенние влагозарядковые поливы. Vegetационные поливы зерновых культур	1. Прогноз норм и сроков влагозарядковых поливов, оросительных норм, доз и сроков вегетационных поливов в связи с агрометеорологическими условиями

Повышение эффективности и конкретизации гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства, способствующее увеличению сельскохозяйственного производства, возможно лишь при совместных усилиях работников гидрометслужбы и сельского хозяйства.

Глава 15

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ

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 30-е годы 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 (И. Ф. Шатилов, 1976; А. П. Федосеев, 1985).

Повышение культуры земледелия, выведение качественно новых сортов (гибридов), разработка интенсивных технологий возделывания 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 новые 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 режима 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 и 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 воз-

можным 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 посева 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 $\pm 1...1,5$ т/га) в пределах даже одного хозяйства (см. разд. 11.5).

15.1. 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, 1977; Е. Е. Жуковский, 1982).

Потенциальная урожайность (ПУ) — урожайность, которая при соблюдении всех элементов принятой агротехники 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 (УПр), или *хозяйственная уро-*

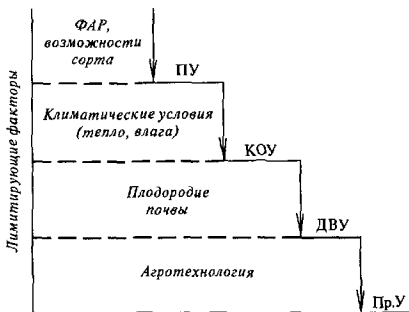


Рис. 15.1. Категории урожайности

жайность, характеризует фактическую продуктивность посева на конкретном поле. Соотношение перечисленных категорий урожайности показано на рисунке 15.1, 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 хозяйственно-экономическую, и в расчете на нее планируют основные агротехнические мероприятия.

Первоочередной задачей программирования является приближение урожайности в производстве к действительно возможной, что достигается строгим соблюдением агротехнологии, оперативной дифференциацией и корректировкой агротехнических приемов в соответствии со складывающимися агрометеорологическими условиями.

Решение задачи приближения ДВУ к КОУ предусматривает проведение долгосрочных мероприятий по повышению плодородия сельскохозяйственных полей с целью создания почвенных условий, близких к оптимальным.

15.2. РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УРОЖАЙНОСТИ

Потенциальную урожайность определяют по приходу и использованию ФАР в посевах. ПУ абсолютно сухой биомассы вычисляют по формуле, т/га,

$$ПУ = \Sigma Q_{\text{ФАР}} \text{КПИ}_{\text{ФАР}} / 100q, \quad (15.1)$$

где $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$ — сумма ФАР за период вегетации рассматриваемой культуры, МДж/га; $\text{КПИ}_{\text{ФАР}}$ — коэффициент полезного использования 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 $\text{КПИ}_{\text{ФАР}}$: 0,5...1 % (см. гл. 2).

Урожайность абсолютно сухой биомассы ($У$) в урожайность хозяйственно полезной (основной) продукции (зерно, клубни и т. п.) при средней влажности ($У_{\text{п.п.}}$) пересчитывают по соотношению

$$У_{\text{п.п.}} = 100У / (100 - \omega)\alpha, \quad (15.2)$$

где ω — средняя влажность основной продукции, % (табл. 15.1); α — сумма частей основной и побочной продукции в общей урожайности абсолютно сухой биомассы.

15.1. Среднее содержание влаги в некоторых видах продукции

Культура	Влажность, %	Культура	Влажность, %
Пшеница, рожь,	14	Корнеплоды	85
ячмень, овес		Кукуруза на силос	70
Многолетние травы	16	Викоовсяная смесь	75
(на сено)		на зеленый корм	
Картофель	80		

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 таблице 15.2.

15.2. 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

С учетом формулы (15.2) потенциальную урожайность хозяйственно полезной продукции ($ПУ_{п.п}$) при средней влажности можно рассчитать по формуле, т/га,

$$ПУ_{п.п} = 100ПУ / (100 - \omega)\alpha. \quad (15.3)$$

15.3. РАСЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИ ОБЕСПЕЧЕННОЙ УРОЖАЙНОСТИ

В общем случае КОУ можно рассчитать по формуле, т/га,

$$КОУ = K_m \cdot ПУ, \quad (15.4)$$

где K_m — коэффициент благоприятствования погодных условий, $K_m = 0...1$; $ПУ$ — потенциальная урожайность, т/га.

В частности, если в рассматриваемом регионе отмечается недостаток влаги, то

$$K_m = E/E_0, \quad (15.5)$$

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

$$\begin{aligned} E &= W_n - W_k + r, \\ E_0 &= 0,24 \sum R, \end{aligned} \quad (15.6)$$

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; $\sum R$ — сумма радиационного баланса за тот же период, МДж/м².

И тогда

$$КОУ = (E/E_0)ПУ, \quad (15.7)$$

или

$$КОУ = \frac{W_n - W_k + r}{0,24 \sum R} ПУ. \quad (15.8)$$

Оценить климатически обеспеченную урожайность можно без определения потенциальной

$$КОУ = 10(W_{вес} + \mu r) / K_v, \quad (15.9)$$

где $W_{вес}$ — весенние запасы продуктивной влаги в слое 0...100 см, мм; μ — коэффициент использования осадков почвой (для горизонтального поля $\mu = 0,8$); r — сумма осадков за период вегетации культуры, мм; K_v — коэффициент водопотребления.

Коэффициент водопотребления показывает, какое количество воды расходуется на формирование единицы растительной биомассы (полезной продукции, или хозяйственного урожая) рассматриваемой культуры (табл. 15.3).

15.3. Ориентировочные значения коэффициента водопотребления некоторых культур в зависимости от увлажненности года для Нечерноземной зоны

Культура	Год		
	влажный	средний	засушливый
Кукуруза (зеленая масса)	35...50	44...65	56...70
Капуста:			
поздняя	60...65	70...80	75...90
ранняя	65...75	80...90	90...100
Морковь	65...100	80...120	90...130
Картофель	80...85	110...115	120...200
Сахарная свекла	75...85	110...115	115...130
Многолетние травы: пастбища	125...140	150...165	175...190

Переход от КОУ абсолютно сухой биомассы к климатически обеспеченной урожайности полезной продукции при средней влажности ($КОУ_{пл}$) осуществляется по формуле (15.2).

Для прямого расчета $КОУ_{пл}$ можно использовать соотношение

$$КОУ_{пл} = \frac{10^3 W}{K_b \cdot \alpha(100 - \omega)}, \quad (15.10)$$

где W — запасы продуктивной влаги, которые в первом приближении определяют как разность между годовой суммой осадков и непроизводительными потерями воды на сток и испарение, составляющими в зависимости от условий (рельеф местности, тип почвы и т. д.) 20...40 % годовой суммы осадков, мм; K_b — коэффициент водопотребления; α и ω — то же, что в формуле (15.2).

Для районов, где лимитирующим фактором в получении высокой урожайности сельскохозяйственных культур являются термические условия, климатически обеспеченную урожайность определяют с учетом биоклиматического потенциала продуктивности

$$КОУ = 0,1\beta(\Sigma t_{>10^\circ C} / 1000), \quad (15.11)$$

где β — коэффициент, зависящий от фактического коэффициента использования ФАР посевами:

$КЛИ_{ФАР}, \%$	1	2	3
β	10	20	30

Другой метод оценки КОУ основан на использовании гидро-термического показателя продуктивности в баллах:

$$\text{ГТП} = (lWn)/(36\Sigma R), \quad (15.12)$$

где l — переводной коэффициент, равный 42 МДж/(мм · м²); W — то же, что и в формуле (15.10); n — продолжительность периода вегетации культуры (число декад); ΣR — годовая сумма радиационного баланса, МДж/м².

Климатически обеспеченная урожайность связана с ГТП эмпирическим соотношением

$$\text{КОУ} = 2,2\text{ГТП} - 1,0. \quad (15.13)$$

Пересчитывают климатически обеспеченную урожайность абсолютно сухой биомассы в КОУ полезной продукции при средней влажности по формуле (15.2).

В каждом конкретном случае КОУ целесообразно рассчитывать различными способами и из полученных значений выбрать меньшее. Для ориентировочной оценки за КОУ можно принять урожайность на госсортоучастках (ГСУ).

15.4. 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 КОУ) на низком агрофоне урожайность, естественно, будет меньше. Эту закономерность учитывают, вводя категорию действительно возможной урожайности (ДВУ), которая меняется от поля к полю и которую рассчитывают по формуле, т/га,

$$\text{ДВУ} = k_{\text{п}}\text{КОУ}, \quad (15.14)$$

где $k_{\text{п}}$ — безразмерный коэффициент, характеризующий степень благоприятности почвенных условий для возделывания той или иной культуры.

Коэффициент $k_{\text{п}}$ ($k_{\text{п}} = 0 \dots 1$) зависит от почвенного плодородия и в первом приближении может быть отождествлен с бонитетом почвы (Б), выраженном в долях единицы:

$$\text{ДВУ} = \text{Б} \cdot \text{КОУ}. \quad (15.15)$$

На практике такая формула иногда может давать заниженную расчетную урожайность, особенно для полей с невысоким бонитетом. Поэтому можно рекомендовать пользоваться соотношением более общего вида:

$$\text{ДВУ} = \text{Б}^{\sigma} \cdot \text{КОУ}, \quad (15.16)$$

где σ — эмпирический коэффициент, значения которого меньше единицы.

Значение σ 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.

15.5. РАСЧЕТ ПРОГРАММИРУЕМОЙ УРОЖАЙНОСТИ

Урожайность, рассчитанную для конкретного поля, называют программируемой урожайностью.

В методике расчета программируемой урожайности учитывают агротехнические мероприятия (суммарные оросительные нормы, дозы удобрений и т. д.), а также экономические факторы (стоимость продукции, затраты на ее получение, имеющиеся в хозяйстве материально-технические ресурсы и т. п.). С другой стороны, Пр.У выбирают с учетом климатической обеспеченности ДВУ различных уровней. Построенная в соответствии с этими требованиями методика приводит к следующему расчетному соотношению:

$$\text{Пр.У} = \text{ДВУ} + t \sigma_{\text{ДВУ}}, \quad (15.17)$$

где ДВУ и $\sigma_{\text{ДВУ}}$ — соответственно среднее многолетнее значение действительно возможной урожайности и ее среднее квадратическое отклонение, т/га; t — безразмерный параметр, зависящий от экономических факторов.

С учетом равенства (15.16) программируемая урожайность, т/га,

$$\text{Пр.У} = B^* \cdot \overline{\text{КОУ}} + B^* t \sigma_{\text{КОУ}}. \quad (15.18)$$

Что касается входящего в расчетную формулу (15.17) безразмерного параметра t , то его принимают в зависимости от коэффициента k :

k	20	10	5	3	2	1	1/2	1/3	1/5	1/10	1/20
t	-1,67	-1,34	-0,97	-0,63	-0,43	0	0,43	0,63	0,97	1,34	1,67

Коэффициент k представляет собой отношение убытков, которые несет хозяйство, когда агрометеорологические условия года оказываются менее благоприятными, чем предполагалось на этапе планирования, к убыткам, которые возникают, когда агрометеорологические условия, наоборот, оказываются более благоприятными. В первом случае УПр получается меньше Пр.У, и потери, которые несет хозяйство, обуславливаются перерасходом ресурсов (например, удобрений) на климатически необеспеченную продуктивность. Во втором случае, напротив, УПр оказывается больше Пр.У, и потери хозяйства обуславливаются недобором урожая вследствие того, что агротехнология была ориентирована на более низкую продуктивность.

Для определения k необходимо проведение экономического анализа специалистами хозяйства.

Как уже отмечалось, программированное выращивание урожая предусматривает учет особенностей каждого конкретного поля и дифференциацию агротехнических приемов в соответствии со складывающимися и ожидаемыми (прогнозируемыми) погодными условиями.

Для того чтобы учесть особенности отдельных сельскохозяйственных полей, прежде чем программировать урожайность, в хозяйстве должны быть детально обследованы все угодья и на каждое поле составлен комплексный паспорт.

Глава 16

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

●

Одним из важнейших видов агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства являются *агрометеорологические прогнозы* — научно обоснованные предположения о влиянии на состояние и продуктивность сельскохозяйственных растений ожидаемых агрометеорологических условий.

Научной основой методов агрометеорологических прогнозов являются физически или биологически обоснованные, количественно выраженные, как правило, многофакторные зависимости роста, развития и продуктивности растений или процессов в системе почва — растение — атмосфера от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий.

Для оценки исходного состояния системы (сложившиеся агрометеорологические условия, фаза развития растений и др.) выбирают наиболее значимые и *лимитирующие факторы*, предопределяющие развитие рассматриваемых явлений или процессов и конечное состояние системы. При этом в первую очередь учитывают те, которые медленно изменяются во времени (запасы влаги в почве, число растений на единице площади, высота снежного покрова и т. п.). Они получили название *инерционных факторов*. Подбирают эти факторы методом корреляционного анализа. На основе регрессионного анализа строят прогностические уравнения с включением выбранных факторов (предикторов).

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, напри-

мер, об урожайности и валовом сборе сельскохозяйственных культур, о размерах площадей гибели озимых зерновых культур и многолетних сеяных трав.

От точности исходной информации в значительной мере зависят качество прогнозов, 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 1 мес, достигая в отдельных случаях 2 и даже 3 мес.

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.

Существующие методы агрометеорологических прогнозов изложены в «Руководстве по агрометеорологическим прогнозам» (1984).

Работу по развитию и совершенствованию методов агрометеорологических прогнозов ведут в Научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии, Российском научно-исследовательском гидрометеорологическом центре и в ряде других научно-исследовательских учреждений системы Росгидромета. По результатам этой работы издают тематические сборники «Методы агрометеорологических прогнозов».

Следует иметь в виду, что методы агрометеорологических прогнозов не являются универсальными. Каждый метод может быть, как правило, применим 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, пастбищной растительности 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.

16.1. ПРОГНОЗЫ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Прогноз теплообеспеченности вегетационного периода. Как отмечалось в главе 11, на большей части сельскохозяйственных районов России в отдельные годы суммы активных температур могут отклоняться на $\pm 400 \dots 600$ °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 поздних культур или более теплолюбивых сортов.

Этот прогноз позволяет весной рассчитать сумму температур выше 10 °С, ожидаемую в предстоящий период вегетации.

Метод прогноза разработан Ф. Ф. Давитая (1964) и основан на связи сумм активных температур с датой устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °С. Чем раньше наступит эта дата, тем большая сумма температур накопится за период активной вегетации.

В общей форме уравнение этой связи имеет вид

$$\sum t_{>10^{\circ}\text{C}} = a - \epsilon D, \quad (16.1)$$

где $\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$ — прогнозируемая сумма активных температур, °С; a и ϵ — числовые коэффициенты, зависящие от места расположения района (станции); D — дата весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °С, выраженная числом дней от 01.03 или 01.04 в зависимости от того, на какой месяц приходится самая ранняя дата перехода температуры через 10 °С.

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.

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 (1972), основана на зависимости весенних запасов влаги в почве от осенних запасов и количества осадков за осенне-зимний период. Прогноз составляют обычно в самом начале марта, за 30...50 сут до посева ранних яровых культур в степной зоне.

Ожидаемые запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см

$$W_{\text{вес}} = W_{\text{ос}} + \Delta W, \quad (16.2)$$

где $W_{\text{ос}}$ — влагозапасы в слое 0...100 см на дату последнего их определения (перед замерзанием почвы), мм; ΔW — изменение влагозапасов за период от даты последнего определения влажности почвы осенью до даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С 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

$$\Delta W = 0,115r + 0,56d - 20; \quad (16.3)$$

при неустойчивой зиме

$$\Delta W = 0,21r + 0,62d - 33, \quad (16.4)$$

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 °С (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 и дату перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С. 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 вегетаций разных культур (С. А. Вериге, Л. А. Разумова, Л. С. Кельчевская, Е. С. Уланова, А. С. Конторщиков и др.).

Точность подобных агрометеорологических прогнозов зависит от точности долгосрочных прогнозов погоды и от того, насколько велико будет отклонение значений метеозаписей, входящих в уравнения, от климатической нормы.

16.2. 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 (1967). 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

$$D = D_1 + \frac{A}{t - t_{6 \min}}, \quad (16.5)$$

где D — ожидаемая дата наступления фазы; D_1 — дата наступления предшествующей фазы; A — сумма эффективных температур, необходимая для данного межфазного периода, °C; t — ожидаемая средняя суточная температура за прогнозируемый (межфазный) период, °C (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, °C; для многих культур умеренного климата он равен 5 °C.

Если прогноз составляют некоторое время спустя после наступления предшествующей фазы, то расчетное уравнение имеет вид

$$D = D_1 + \frac{A - \sum t_{\text{эф}}}{t - t_{6 \min}}, \quad (16.6)$$

где $\sum t_{\text{эф}}$ — сумма эффективных температур, накопившаяся от даты наступления предшествующей фазы до даты составления прогноза, °C.

А. А. Шиголевым установлены значения сумм эффективных температур, необходимых для прохождения основных межфазных периодов зерновых (табл. 16.1) и плодовых культур с учетом сортовых различий.

Для многих сортов яблони, культивируемых в зоне умеренного климата европейской части России, необходимая сумма эффективных температур от начала вегетации до цветения равна 185 ± 10 °C. Цветение груши начинается при накоплении суммы эффективных температур 125 ± 10 °C, вишни — 150 ± 10 °C.

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 весны темп нараста-

16.1. Суммы эффективных температур, °С, необходимые для прохождения основных межфазных периодов зерновых культур при оптимальном увлажнении

Культура	Межфазные периоды				
	посев — всходы	всходы — кущение	кущение — выход в труб- ку	выход в труб- ку — колоше- ние	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

ния 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 косточковых 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 автором названы *балластными*, и на них следует вводить поправки (табл. 16.2).

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).

16.2. 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. 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. Начиная с 1957 г. в нашей стране ежегодно составляют прогнозы распространения основных болезней и вредителей сельскохозяйственных культур.

Ф и т о ф т о р о з. 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 рисунке 16.1.



Рис. 16.1. Номограмма для расчета продолжительности инкубационного периода фитофтороза картофеля (по Н. А. Наумовой)

Она отражает зависимость длительности инкубационного периода от среднесуточной, минимальной и максимальной температур воздуха, отмечавшихся в течение 3 сут после критического периода.

Рассмотрим пример составления прогноза срока химической обработки картофеля против фитофтороза. Исходные данные следующие: 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 $16,9^{\circ}\text{C}$, средняя минимальная — $10,8^{\circ}\text{C}$, средняя максимальная — 23°C . 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 ($10,8^{\circ}\text{C}$) и максимальной (23°C) температурами воздуха. Затем, двигая кальку горизонтально, совмещаем верхнюю часть вертикальной линии со значением среднесуточной температуры воздуха ($17,5^{\circ}\text{C}$). 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.

К о л о р а д с к и й ж у к. Метод прогноза появления этого опасного вредителя картофеля и других пасленовых культур разработал В. В. Вольвач (1972). Установлено, что начало устойчивого выхода жука из почвы совпадает с переходом среднесуточной температуры воздуха через 10°C . Для установления продолжительности (y) периода созревания перезимовавших жуков (т. е. периода от выхода до начала яйцекладки) В. В. Вольвач предложил уравнение

$$y = 94,6 + 0,221t^2 - 8,738t + 4,15\Delta t, \quad (16.7)$$

где t — среднесуточная температура воздуха за этот период (фактическая, по прогнозу или климатическая норма), $^{\circ}\text{C}$; Δt — разность между максимальной длиной дня и 21.06 на данной широте места и длиной дня на дату выхода жуков из почвы, ч.

В. В. Вольвачем 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 метеозаэментов, определяемых по долгосрочному прогнозу погоды или по климатическому справочнику.

16.3. ПРОГНОЗЫ СОСТОЯНИЯ ЗИМУЮЩИХ КУЛЬТУР ВЕСНОЙ

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 (1972). 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

$$S = 0,313 (\bar{t}_3 + 5)^2 + 1,336 (\bar{t}_3 + 5) + 2,238, \quad (16.8)$$

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, °C.

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

$$S = 1,017S_0 + 5,340\bar{m} - 1,060\bar{t}_3 - 3,689, \quad (16.9)$$

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 вес-

ной можно по результатам отращивания растений в вырубленных 23.02 монолитах. Для озимой пшеницы уравнение имеет вид

$$S = 1,74 x + 7,29, \quad (16.10)$$

где S — площадь с погибшими посевами, %; x — средний по области процент изреженности пшеницы при отращивании. Уравнение составлено для областей Центрально-Черноземной зоны.

Оценить ожидаемые весной площади погибших посевов озимых зерновых можно и по графикам, предложенным В. А. Моисейчик. Так, в качестве примера на рисунке 16.2 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 кушения 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 рисунка 16.3 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 мини-

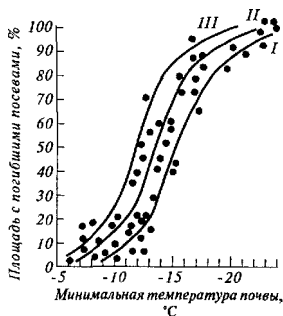
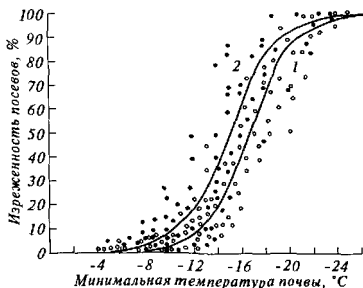


Рис. 16.2. Зависимость площади с погибшими посевами озимой пшеницы от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кушения до 20.02:

I — для морозостойких сортов (Мироновская 808, Одесская 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

Рис. 16.3. Зависимость изреженности посевов клевера (1 — одноукосного, 2 — двухукосного) от минимальной температуры почвы на глубине узла кущения озимых зерновых культур (Нечерноземная зона)



мальной 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:

$$S = 6,32 \bar{t}_3 + 0,29 \bar{t}_3^2 + 0,11n + 0,07 \bar{n}^2 + 30,93. \quad (16.11)$$

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

$$n = 17,54 - 1,13d, \quad (16.12)$$

где d — срок 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 конкретных полях Нечерноземной зоны от суммы минимальных декадных температур почвы на глубине 3 см до 20.02 представлена на рисунке 16.4.

В дальнейшем ожидаемые размеры площадей с плохим состо-

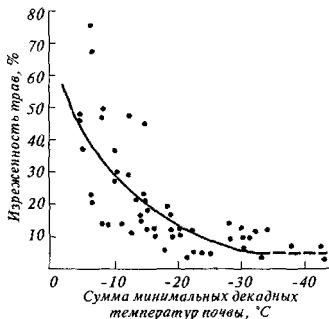


Рис. 16.4. Зависимость изреженности трав, %, весной от суммы минимальных декадных температур почвы на глубине узла кущения озимых зерновых культур до 20.02

почек у (%) от абсолютного минимума температуры воздуха за зиму ($t_{\text{абс. min}}$) и числа дней с температурой поверхности почвы (снега) ниже -20°C (n). Эти зависимости выражают уравнениями

$$y = -0,98t_{\text{абс. min}} + 1,33 \quad (16.13)$$

и

$$y = 1,03n + 2,07. \quad (16.14)$$

Уравнения рассчитаны для случаев с неблагоприятными условиями осенне-летнего периода, т. е. когда растения плохо подготовлены к перезимовке.

16.4. ПРОГНОЗЫ УРОЖАЙНОСТИ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ТРАВ, ПАСТБИЩНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ 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, транспорти-

рованием сеяных трав (как и озимых зерновых культур) уточняют по результатам отраживания растений в вырубленных монолитах.

Все прогнозы этой группы имеют большое практическое значение. На основании их можно своевременно подготовиться к посеву погибших, к посеву изреженных и подкормке ослабленных посевов.

Надо отметить, что имеются методы прогноза перезимовки и плодовых культур. Например, для Нечерноземной зоны Т. А. Побетовой получена зависимость поврежденных плодовых и листовых

ровки урожая, подготовки хранилищ, перерабатывающих предприятий и т. д.

Урожайность культур зависит от ряда факторов, многие из них довольно стабильны [почвенные условия, биологические особенности 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 в пространстве. Поэтому при прогнозах урожайности в первую очередь учитываются основные и лимитирующие агрометеорологические элементы.

Ниже излагаются 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 (1988). Главными инерционными факторами формирования урожая являются весенние запасы влаги в почве и число стеблей на 1 м², сохранившиеся 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 для сортов Безостая 1 и Мироновская 808 с трехмесячной заблаговременностью (составляется через 10 сут после возобновления вегетации) прогнозируется по уравнению

$$Y = 0,1(0,059W + 0,24n - 2,97), \quad (16.15)$$

где Y — ожидаемая урожайность, т/га; W — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см весной, мм; n — число стеблей на 1 м² весной.

А в фазу колошения (месячная заблаговременность) используют уравнение

$$Y = 0,1(-42,8 + 0,35W - 0,11 \cdot 10^{-4} W^2 + 0,02 n - 7 \cdot 10^{-6} n^2 - 4 \cdot 10^{-3} t - 2 \cdot 10^{-4} t^2 + 3,3t - 0,15t^2 + 0,24h + 4 \cdot 10^{-6} h^2), \quad (16.16)$$

где n — число стеблей на 1 м² в фазу колошения; t и t^2 — соответственно среднесуточная температура воздуха (°C) и количество осадков (мм) за период от возобновления вегетации до колошения; W — запасы продуктивной влаги в слое 0...100 см за тот же период, мм; h — высота растений в фазу колошения, см.

Для облегчения расчетов по подобным уравнениям построены графики (рис. 16.5).

Для Нечерноземной зоны М. С. Куликом (1966) разработаны прогнозы урожайности озимой пшеницы, в которых учитываются

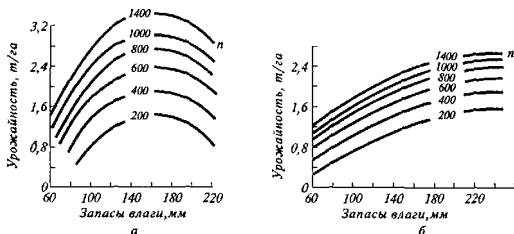


Рис. 16.5. Зависимость средней областной урожайности озимой пшеницы от средних по области запасов влаги в слое почвы 0...100 мм и числа стеблей (n) на 1 м² в фазу выхода в трубку:

а – Северный Кавказ, Республики Украина и Молдавия; *б* – Центрально-Черноземная зона, Среднее и Нижнее Поволжье. Цифры у кривых – число стеблей на 1 м²

ся 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. Например, среднюю областную урожайность яровой пшеницы можно рассчитать по уравнению, полученному К. В. Кириличевой:

$$Y = 0,1(0,01n + 0,88x + 0,20h + 0,02W), \quad (16.17)$$

где Y – ожидаемая урожайность, т/га; n – число колосоносных стеблей на 1 м²; x – среднее число колосков в колосе; h – средняя высота растений, см; W – запасы продуктивной влаги в слое 0...100 см, мм.

Прогноз урожайности зерна кукурузы. Метод этого прогноза предложен Ю. И. Чирковым (1969). 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. 16.6). В расчет вводят поправки на температуру воздуха в период формирования элементов продуктивности початка и в течение месяца после выметывания метелки.

В практике прогноза урожайности зерна кукурузы используют систему уравнений, полученных для различных площадей листовой поверхности посева в фазу выметывания метелки.

В общем виде уравнение для конкретного поля имеет вид

$$Y_s = \frac{K_{t_2}(-aW^2 + bW - c)}{K_{t_1}w_1}, \quad (16.18)$$

где Y_s — урожайность при данной листовой поверхности, т/га; K_{t_2} — коэффициент, зависящий от температуры воздуха в течение месяца после выметывания метелки (температуру определяют по прогнозу); W — запасы продуктивной влаги в слое 0...50 см в фазу выметывания метелки, мм; a, b, c — коэффициенты, зависящие от площади листовой поверхности; $K_{t_1}w_1$ — коэффициент, зависящий от среднесуточной температуры и средних влагозапасов в период IV–VI этапов органогенеза початка.

Площадь листьев одного растения определяют по формуле, предложенной Ю. И. Чирковым:

$$S_1 = 0,37h - 16,3, \quad (16.19)$$

где S_1 — площадь листьев одного растения, дм^2 ; h — высота стебля растения с метелкой, см. Формула применима для растений высотой от 50 до 250 см.

Для расчета площади листовой поверхности на 1 га надо площадь S_1 (м^2) умножить на число растений на 1 га.

Разработаны 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°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

$$Y = 0,105y_1 + 0,002\Sigma t + 0,092w - 0,343, \quad (16.20)$$

где Y — ожидаемая средняя областная урожайность, т/га; y_1 — средний по области

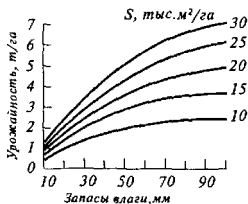


Рис. 16.6. Зависимость урожайности зерна кукурузы от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...50 см и площади листовой поверхности S

биологический урожай (масса корнеплода на 20.07, умноженная на густоту посева на 20.08), т/га; Σt — средняя по области сумма среднесуточных температур за период от декады, когда было засеяно более 50 % площади или за период от перехода средней суточной декадной температуры воздуха через 10 °С до 01.08, °С; 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. А густоту посевов на 20 августа (n) определяют по формуле

$$n = 0,86n_1 + 6, \quad (16.21)$$

где n_1 — густота посевов на 1 июля.

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 (1972), положена зависимость урожайности от показателя K , представляющего собой отношение

$$K = (0,6r_1 + r_2)/0,1\Sigma t, \quad (16.22)$$

где 0,6 — коэффициент усвоения осадков; r_1 — количество осадков за период от даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С осенью предыдущего года до даты устойчивого перехода ее через 10 °С весной, мм; r_2 — количество осадков от даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °С до даты созревания подсолнечника, мм; Σt — сумма среднесуточных температур за период от даты перехода температуры через 10 °С до созревания подсолнечника, °С.

Связь урожайности (U_c) среднепозднеспелых сортов подсолнечника при высоком уровне агротехники (данные сортоучастков) с показателем увлажнения K приведена на рисунке 16.7. Математическое выражение связи имеет вид, т/га,

$$U_c = 23,44(K - 0,46)^{0,8}. \quad (16.23)$$

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 (16.23) для сортоучастков, к среднеобластной урожайности (рис. 16.8).

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.

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 (1982), 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:

$$Y = 0,1(0,06W + 2,2), \quad (16.24)$$

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 и др.) зависимость средней по области урожайности от влагозапасов имеет криволинейный характер:

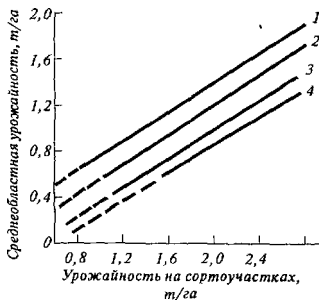


Рис. 16.8. Связь между урожайностью семян подсолнечника на сортоучастках и среднеобластной в хозяйствах всех категорий:

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

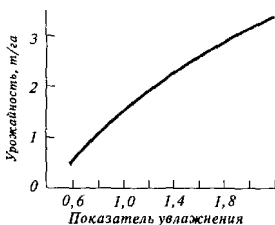


Рис. 16.7. Связь урожайности семян подсолнечника на сортоучастках с показателем увлажнения K

$$Y = 0,1(-0,0005W^2 + 0,22W - 15,4). \quad (16.25)$$

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), яблоч (А. П. Лосев), волокна льна-долгунца (А. А. Андреев) и ряда других культур, а также урожайность пастбищной растительности (А. П. Федосеев, И. Г. Грингоф и др.).

Динамико-статистические модели формирования урожая сельскохозяйственных культур. Развитие количественной теории производственного процесса, общие принципы которой сформулированы в исследованиях А. А. Ничипоровича, А. И. Будаговского, Ю. К. Росса, Х. Г. Тооминга и др., послужило основой создания моделей формирования урожая сельскохозяйственных культур, в которых в качестве основного аппарата исследования применяют математическое моделирование.

Структура модели включает четыре основных блока: гидрометеорологический, почвенный, фотосинтетический и ростовой (рис. 16.9).

В этих моделях гидрометеорологические факторы (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 количественно 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 производственного процесса).

Преимущество динамических моделей заключается в рассмотрении формирования урожая как процесса, изменяющегося во времени в зависимости от состояния посева, влияния внеш-

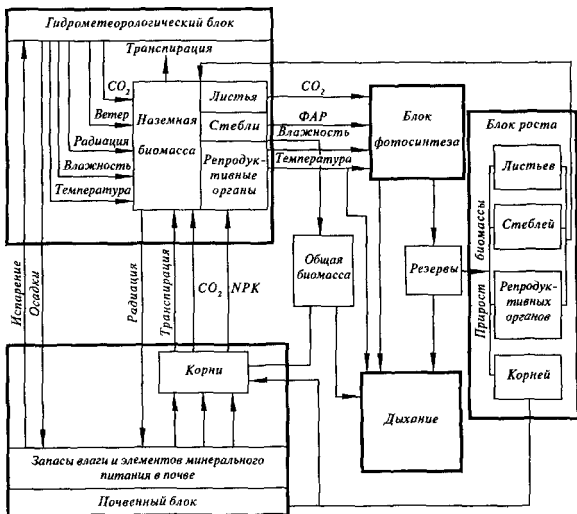


Рис. 16.9. Блок-схема продукционного процесса (по И. Г. Грингофу, В. В. Поповой и др., 1987)

ней 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 разработаны О. Д. Сиротенко, Е. П. Галяминым, А. Н. Полевым. Исследованиями О. Д. Сиротенко изучены свойства продукционного процесса системы почва — растение — атмосфера и проблема прогноза урожайности формулируется им как задача математической геофизики. О. Д. Сиротенко создал динамическую модель формирования урожайности и динамико-статистическую модель погода — урожай, например, для ярового ячменя. Эти модели дают возможность ежедекадно рассчитывать биологический урожай, динамику биомассы и площадь листьев растений на основании данных о погодных условиях, влагозапасах почвы, состоянии посева.

А. Н. Полевой создал комплекс динамико-статистических методов оценки агрометеорологических условий произрастания и прогнозирования урожайности ряда сельскохозяйственных культур в Нечерноземье. Он исследовал чувствительность предложенных моделей к изменению параметров и структуры моделей, а также входной информации; географическую изменчивость параметров моделей. Предложенные А. Н. Полевым модели формирования урожая могут быть использованы и в более общих моделях растениеводства, в частности, для оценки продуктивности новых сортов и гибридов в целях обоснования их интродукции в различные почвенно-климатические зоны. 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.

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. Поэтому, получая высокий валовой урожай, его качество бывает чрезвычайно низким, и использовать его 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 повышается 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 уравнивания для прогноза содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы сильных сортов в условиях Центрально-Черноземной зоны, разработанные В. Н. Страшным.

Содержание белка в зерне пшеницы, возделываемой по чистому пару, вычисляют по формуле

$$Y_6 = 0,27A - 0,01W + 0,16d - 0,002N + 0,09t + 9,52, \quad (16.26)$$

а клейковины — по формуле

$$Y_k = 0,44A - 0,03W + 0,33d - 0,006N + 0,24t + 21,94, \quad (16.27)$$

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°C до даты перехода температуры через 10°C), $^\circ\text{C}$; 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 колосонных стеблей на 1 м^2 ; t — среднесуточная температура воздуха за межфазный период колошения — восковая спелость, $^\circ\text{C}$ (берут по прогнозу погоды или из справочника).

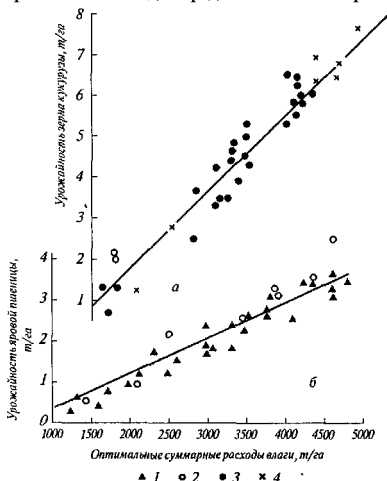
Прогноз составляют после наступления фазы колошения.

16.5. ПРОГНОЗ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ ДЛЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Для планирования различных мероприятий, связанных с орошением сельскохозяйственных культур, и для сопоставления имеющихся запасов оросительных вод с предполагаемой потреб-

Рис. 16.10. 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



ностью 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 (1972), прогноз составляют ранней весной, как только определяют весенние запасы влаги в почве.

Оросительная норма, мм,

$$N = E_{\Sigma} - E_{\Sigma_1}, \quad (16.28)$$

где E_{Σ} — оптимальные суммарные расходы влаги, обеспечивающие получение заданной урожайности, мм; E_{Σ_1} — фактические суммарные расходы в естественных условиях увлажнения, мм.

E_{Σ} определяют по известным зависимостям урожайности сельскохозяйственных культур от используемого ими в период вегетации количества воды. Для яровой пшеницы и кукурузы эти зависимости приведены на рисунке 16.10.

E_{Σ_1} рассчитывают по уравнению водного баланса:

$$E_{\Sigma_1} = W_n - W_k + r, \quad (16.29)$$

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 %.

Агрометеорологические прогнозы дают специалистам сельского хозяйства чрезвычайно важную информацию, необходимую для принятия обоснованных хозяйственных решений — начиная от подготовки почвы к посеву, правильного ухода за посевом в течение вегетационного периода и кончая уборкой урожая.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

- Алпатьев А. М.* Влагообороты в природе и их преобразования. — Л.: Гидрометеониздат, 1969. — 323 с.
- Белобородова Г. Г.* Агрометеорологические основы повышения продуктивности плодородства. — Л.: Гидрометеониздат, 1982. — 164 с.
- Вериго С. А., Разумова Л. А.* Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. — Л.: Гидрометеониздат, 1963. — 288 с.
- Грингоф И. Г., Попова В. В., Страшный В. Н.* Агрометеорология. — Л.: Гидрометеониздат, 1987. — 310 с.
- Лекции по сельскохозяйственной метеорологии/Под ред. М. С. Кулика и В. В. Синельщикова.* — Л.: Гидрометеониздат, 1966. — 340 с.
- Лосев А. П.* Погода и урожай яблоки. — Л.: Гидрометеониздат, 1979. — 88 с.
- Лосев А. П.* Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. — СПб.: Гидрометеониздат, 1994. — 244 с.
- Лубнин М. Г.* Влияние агрометеорологических условий на работу сельскохозяйственных машин и орудий. — Л.: Гидрометеониздат, 1983. — 117 с.
- Моисейчик В. А.* Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 295 с.
- Павлова М. Д.* Практикум по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеониздат, 1984. — 184 с.
- Полевой А. Н.* Сельскохозяйственная метеорология. — СПб.: Гидрометеониздат, 1992. — 424 с.
- Романова Е. Н., Мосолова Г. И., Береснева И. А.* Микроклиматология и ее значение. — Л.: Гидрометеониздат, 1983. — 245 с.
- Руднев Г. В.* Агрометеорология. — Л.: Гидрометеониздат, 1964. — 277 с.
- Синицина Н. И., Гольцберг И. А., Струнников Э. А.* Агроклиматология. — Л.: Гидрометеониздат, 1973. — 344 с.
- Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии/ Под ред. И. Г. Грингофа.* — Л.: Гидрометеониздат, 1986. — 527 с.
- Тооминг Х. Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. — Л.: Гидрометеониздат, 1977. — 200 с.

Федосеев А. П. Агротехника и погода. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 239 с.

Федосеев А. П. Погода и эффективность удобрений. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 144 с.

Чирков Ю. И. Агрометеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 293 с.

Шатилов И. С., Чудновский А. Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 318 с.

Шульгин А. М. Агрометеорология и климатология. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 200 с.

Дополнительная

Гулинова Н. В. Методы агроклиматической обработки наблюдений. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 152 с.

Гуральник И. И., Дубинский Г. П., Мамиконова С. В. Метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 416 с.

Давитая Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 131 с.

Зондзе Е. К. Погода, климат и эффективность труда в земледелии. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 224 с.

Клеценко А. Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 190 с.

Константинов А. Р. Испарение в природе. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 532 с.

Константинов Л. К. Защита сада от резких колебаний температуры и заморозков. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 112 с.

Коровин А. И. Растения и экстремальные температуры. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 271 с.

Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 138 с.

Куперман Ф. М., Чирков Ю. И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 144 с.

Лосев А. П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 144 с.

Мельник Ю. С. Климат и прорастание подсолнечника. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 143 с.

Микроклимат СССР/ Под ред. И. А. Гольцберг. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 286 с.

Посечнюк Л. Е., Сенников В. А. Агроклиматическая оценка суховея и продуктивность яровой пшеницы. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 128 с.

Подольский А. С. Фенологический прогноз. — М.: Колос, 1974. — 287 с.

Поляков И. Я., Персов М. П., Смирнов В. А. Прогноз развития вредителей и болезней сельскохозяйственных культур (с практикумом). — М.: Колос, 1984. — 318 с.

Росс Ю. К. Радиационный режим и архитектоника растительного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 341 с.

Руководство по агрометеорологическим прогнозам. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — Т. 1. — 309 с.; т. 2. — 264 с.

Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплого режима и продуктивности агроэкосистемы. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 167 с.

Страшина А. И. Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая семян многолетних сеяных трав на европейской части СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 156 с.

Уланова Е. С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 53 с.

Уланова Е. С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 302 с.

Цубербиллер Е. А. Суховеи, их агрометеорологическая сущность и пути борьбы с ними. — М.: Колос, 1966. — 110 с.

Цупенко Н. Ф. Справочник агронома по метеорологии. — Киев: Гидрометеиздат, 1990. — 240 с.

Чирков Ю. И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 251 с.

Шашко Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 247 с.

Шульгин А. М. Растение и солнце. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 251 с.

Шульгин И. А. Климат почвы и его регулирование. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 340 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абсолютный минимум (максимум) температуры 78
Агроклиматическое районирование
 общее 235
 частное 243
Агроклиматические
 аналоги 250
 ресурсы 234
 условия 234
Агрометеорология 3
Актинометр 44, рис. 2.5, а
Альбедо 31
Амплитуда 51
Анемометр 142, рис. 9.4
Анеморумбометр 143, рис. 9.5
Антициклон 145
Аспирационный психрометр 90, рис. 5.5
Атмосфера 12
Атмосферное давление 18
Атмосферный фронт 155
Аэрация почвы 14
Аэрозоль 13

Б

Баланс
 водный 133
 радиационный 34
 тепловой 49
Балансомер 44, рис. 2.5, в
Бар 19
Барическая ступень 20
Барограф 20, рис. 1.1, а
Барометр-анероид 20, рис. 1.1, б
 ртутный чашечный 20, рис. 1.1, а
Биоклиматический потенциал 239
Бора 150
Бриз 148

В

Венцы 106
Вертикальный градиент температуры 74
Ветер 137
Ветровая эрозия (дефляция) 207
Влагоемкость почвы
 капиллярная 126
 наименьшая 125
 полная 126
Влагообеспеченность растений 130
Влажность воздуха
 абсолютная 83
 относительная 83
 удельная 84
Влажность
 разрыва капилляров 125
 устойчивого завядания 125
Вода
 гравитационная 123
 капиллярная 122
 связанная 122
Воляной пар 16
Воздух 12
Воздушная масса
 теплая 155
 холодная 154
Волосной гигрометр 90, рис. 5.6
Встречное излучение атмосферы 34
Выдувание озимых 232
Вымерзание растений 228
Вымокание растений 231
Выпирание озимых 231
Выпревание растений 229

Г

Гало 106
Гелиограф 44, рис. 2.6, б
Гигрограф волосной 90, рис. 5.7
Гидротермический коэффициент 181
Гистограмма 112

Град 210
Гололед 233
Горизонтальный барический градиент 138
Горно-долинный ветер 149

Д

Дефицит
 влаги в почве 126
 насыщения водяного пара 84
Деятельный (активный) слой 56
Дождемер
 полевой 113, рис. 7.3
 почвенный 113
Дымка 103

З

Заморозки 213
Запас воды в снежном покрове 117
Засуха
 атмосферная 197
 зимняя 232
 почвенная 197
Зимостойкость растений 226

И

Изморозь 101
Изобары 138
Изотермы 78
Инверсия температуры 74
Иней 101
Инерционные факторы 270
Инсоляция 29
Интенсивность радиации 27
Ионосфера 24
Испарение 93
Испаряемость 94

К

Климат 164
Климатическая поправка 176
Климатология 165
Компенсиционная точка 41
Конденсация 100
Коэффициент
 влагообеспеченности 182
 водопотребления 267
 прозрачности атмосферы 28
 температуропроводности почвы 55
 теплопроводности почвы 53
 транспирации 95
 увлажнения 181
Кулисы 99

Л

Ледяная корка 230
Лимитирующие факторы 270
Люксметр 44, рис. 2.6, а

М

Максимальная гигроскопичность почвы 124
Максимальная упругость 83
Мезосфера 23
Местные ветры 148
Мерзлометр 63, рис. 3.7, //
Метеорологические элементы 152
Методы агрометеорологических исследований 5
Микроклимат 187
Микроклиматическая карта 193
Мониторинг 18
Морозобоины 233
Морозостойкость растений 227
Мульчирование 35
Муссоны 145

Н

Недостаток насыщения 84
Недоступная влага 124
Нормальное атмосферное давление 19

О

Облака 103
Облака
 вертикального развития 105
 верхнего яруса 105
 нижнего яруса 105
 орографические 104
 среднего яруса 105
Озон 15
Окклюзия 159
Оранжевый эффект атмосферы 34
Осадки
 жидкие 109
 ливневые 109
 моросящие 109
 обложные 109
 смешанные 109
 твердые 109
Осадкомер 113, рис. 7.2
Оценка
 вымерзания 184
 теплообеспеченности 175
 ресурсов климата 174
 условий увлажнения и влагообеспеченности 179

П

Парниковый эффект атмосферы 34
 Парциальное давление водяного пара 83
 Паскаль 19
 Пассаты 145
 Пиранометр 44, рис. 2.5, б
 Плотность снега 117
 Плювиограф 113, рис. 7.4
 Погода 152
 Поток радиации 27
 Почвенный воздух 13
 испаритель 97, рис. 6.1
 Приведенные давления к уровню моря 19
 Продуктивная влага 129
 Психометрическая будка 76, рис. 4.5
 Пыльные бури 207

Р

Радиация
 длинноволновая 36
 коротковолновая 36
 Радиоактивные вещества 17
 Растения короткого (длинного) дня 42
 Роза ветров 139
 Роса 101

С

Световая кривая фотосинтеза 41
 Световой эквивалент радиации 40
 Сельскохозяйственная метеорология 3
 Синоптическая карта 161
 Скорость испарения 93
 Смог 17
 Снегомер весовой 117, рис. 7.5
 Снегомерная съемка 116
 Снегосгонка 121
 Снежные мелиорации 119
 Снежный покров 116
 Собственное излучение Земли 31
 Солнечная постоянная 28
 Солнечная радиация
 прямая 27
 рассеянная 28
 суммарная 30
 отраженная 31
 Солнечный ожог 233
 Средний из абсолютных минимумов (максимумов) 78
 Средний минимум (максимум) 78
 Средняя температура
 годовая 77

 месячная 77
 суточная 77

Стационарный психрометр 89, рис. 5.4
 Стратосфера 23
 Сублимация 100
 Сумма активных температур 80
 биологических температур 174
 эффективных температур 80
 Суммарное испарение 95
 Суховеи 197

Т

Температура
 активная 80
 балластная 81
 критическая 219
 эффективная 80
 Температурные границы жизни 81
 Температурные шкалы 63, рис. 3.7, III
 Температуропроводность 55
 Тепловая конвекция 70
 Теплоемкость
 объемная 53
 удельная 52
 Теплопроводность
 молекулярная 70
 радиационная 70
 турбулентная 70
 Термические ресурсы 174
 Термограф 76, рис. 4.6
 Термоизоплеты 57
 Термометр
 вытяжной 63, рис. 3.7, I, ж
 коленчатый 62, рис. 3.7, I, в
 максимально-минимальный 63, рис. 3.7, I, и
 максимальный 62, рис. 3.7, I, а
 минимальный 62, рис. 3.7, I, б
 психометрический 88
 срочный 62
 щуп 63, рис. 3.7, I, г
 Термосфера 23
 Тип излучения 57
 инсоляции 57
 Точка росы 84
 Транзисторный электротермометр 63, рис. 3.7, I, д
 Транспирация 95
 Трансформация воздушных масс 154
 Тропосфера 23
 Трость агронома 70, рис. 3.7, I, е
 Туман 102

У

Упругость насыщения 83
Уровень «плато» 41
Урожайность
 действительно возможная 263
 климатически обеспеченная 263
 потенциальная 263
 программируемая 264
 хозяйственная 263

Ф

Фён 149
Фитоклимат 88
Фитотрон 194
Флюгер стационарный 142, рис. 9.3
Фотопериодическая реакция растений
(фотопериодизм) 42
Фотосинтетически активная радиация 37

Фреоны 15

Фронт
 теплый 183
 холодный 184

Ц

Циклон 145
Циклоническая деятельность 145
Циркуляция атмосферы (общая) 143

Э

Экзосфера 24
Электротермометр сопротивления 63,
рис. 3.7, I, з
Эффективное излучение 34

Я

Ядра конденсации (сублимации) 100